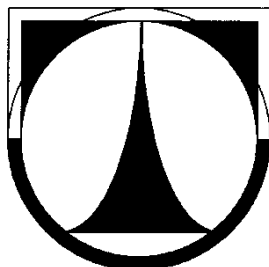


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra aplikované kybernetiky



LABORATORNÍ MODEL SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY
LABORATORY MODEL OF SOLAR POWER PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

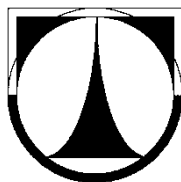
Miroslav Stejskal

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra aplikované kybernetiky



Studijní program

M2301 Strojní inženýrství

Obor 3902T021

Automatizované systémy řízení ve strojírenství

Zaměření

Automatizace řízení technologických procesů

LABORATORNÍ MODEL SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY

LABORATORY MODEL OF SOLAR POWER PLANT

Diplomová práce

Miroslav Stejskal

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Moučka, Ph.D.

Počet stran: [71]

Počet obrázků: [22]

Počet tabulek: [7]

Počet příloh: [2]

Květen 2012



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Miroslav STEJSKAL**
Studijní program: **M2301 Strojní inženýrství**
Obor: **3902T021 Automatizované systémy řízení ve strojírenství**
Zaměření: **Automatizace řízení technologických procesů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Laboratorní model solární elektrárny

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce doporučené metody pro vypracování)

1. Navrhněte a zrealizujte laboratorní model jedné buňky solární elektrárny. Při návrhu využijte stávajícího vybavení katedry (solární panely Solartec, měniče napětí, řídicí automat AMiNi2DS, atd.). Nosnou konstrukci modelu navrhněte tak, aby umožňovala společné natáčení panelů za sluncem jednak v horizontálním jednak vertikálním směru.
2. Do elektrického obvodu modelu zapojte senzory pro zjištění směru s největším slunečním svitem. Dále začleňte prvky pro sledování aktuálního dodávaného výkonu.
3. Naprogramujte řídicí systém AMiNi 2DS v prostředí DetStudio. Uživateli dejte na možnost na výběr natáčení panelů podle času nebo podle intenzity svitu slunce.
4. Ověřte správnost a funkčnost řešení.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 40 stran + přílohy
- grafické práce: dle potřeby

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] anon.: *AMiNi2(D) Kompaktní řídicí systém s rozhraním Ethernet - Návod k obsluze*, AMiT, 2006
- [2] anon.: *DM-UI8RDO8 Rozšiřující modul s protokolem ARION - Návod na obsluhu*, AMiT, 2008
- [3] anon.: *DetStudio Průvodce první aplikací - Návod na obsluhu*, AMiT, 2008
- [4] anon.: *Aplikační poznámka AP0005 - Komunikace v síti ARION*, AMiT, 2009
- [5] anon.: *Lineární pohon LH24A-SR - technický list*, BELIMO
- [6] anon.: *Rotační pohon LU24A-SR - technický list*, BELIMO
- [7] anon.: *Solartec STR36-26/12*, SOLARTEC
- [8] anon.: *Regulátor nabíjení CML05*, SOLARTEC
- [9] MURTINGER, K., - TRUXA, J.: *Solární energie pro váš dům*. Brno: Era - vydavatelství, 2006

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Moučka, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

L.S.

Ing. Michal Moučka, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 1. 11. 2011

Téma

Laboratorní model solární elektrárny

Anotace

Diplomová práce se zabývá obecnou problematikou řízení solárních sledovačů, neboli solárních trackerů pomocí PLC řízení. Pozornost je hlavně věnována tvorbě systému solární elektrárny a jeho řízení.

Cílem této práce bylo vytvořit fungující model solární elektrárny řízené pomocí PLC, jenž by demonstrovala možnost vytvoření efektivního a energeticky nezávislého zdroje energie ze slunce. Výsledek této práce je určen pro laboratorní využití na katedře aplikované kybernetiky v Liberci k demonstraci možnosti vytvoření energeticky nezávislých zařízení.

Klíčová slova: PLC, solární sledovač, solární elektrárna

Theme

Laboratory model of solar power plant

Annotation

This thesis deals with general issues of management of solar trackers by using PLC control. Attention is mainly paid to the creation of solar power station and its management.

The objective of this work was to create a working model of solar power station controlled by PLC, which would demonstrate the possibility of creating an effective and energy-independent source of energy from the sun. The result of this work is designed for laboratory use at the Department of Applied Cybernetics in Liberec to demonstrate the possibility of creating energy-independent devices.

Key words: PLC, solar tracker, solar power station

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra aplikované kybernetiky

Dokončeno: 2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Moučkovi. Ph.D. za odbornou pomoc, rady a konzultace.

Dále bych rád poděkoval především rodičům a všem mým blízkým, kteří mě po celou dobu studia na FS TUL podporovali a byli mi po dobu studia pevnou oporou.

Obsah

Přehled použitých zkratk, symbolů a jednotek	10
1 ÚVOD	12
1.1 Cíle diplomové práce	13
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	14
2.1 Využití elektrického proudu ze slunce	14
2.1.1 Sluneční energie	14
2.1.2 Fotoelektrický jev	14
2.1.3 Fotovoltaický článek.....	15
2.1.4 Účinnost fotovoltaických článků	15
2.1.6 Solární panel.....	16
2.1.7 Fotovoltaické systémy	17
2.1.8 Solární elektrárny	18
2.2 Programovatelné automaty	19
2.2.1 Co jsou programovatelné automaty	19
2.2.4 Programování PLC	20
2.2.5 Vývojové prostředí DetStudio	22
2.2.6 Servisní a vizualizační nástroj ViewDet	25
2.2.7 Průmyslová komunikace	25
2.3 Astronomie.....	28
2.3.1 Čas	28
2.3.2 Astronomické souřadnice.....	30
2.3.3 Výpočet pozice slunce	33
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
3.1 Konstrukce modelu	36
3.1.1 Návrh kinematického schématu.....	36

3.1.2 Volba pohonů	37
3.1.3 Návrh konstrukce	38
3.1.4 Výpočet kinematiky naklápění	39
3.1.5 Držák solárního senzoru	42
3.2 Elektronika solárního sledovače	42
3.2.1 Základní popis systému	43
3.2.2 Senzor pro určení směru slunečního svitu	44
3.2.3 Senzor pro indikaci stavu nabití baterie.....	45
3.2.4 Zapojení systému	46
3.3 Řídicí systém solárního sledovače	48
3.3.1 Koncept řídicího systému	48
3.3.2 Tvorba řídicí systém PLC.....	49
3.3.3 Řízení pomocí obrazovek	55
4 ZÁVĚR	61
Citovaná literatura.....	62
Seznam příloh.....	63

Přehled použitých zkratk, symbolů a jednotek

PLC	Programmable Logic Controller	Programovatelný automat	
CO ₂		Oxid uhličitý	
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System	Fotovoltaický Geografický Informační Systém	
SEČ		Středoevropské časové pásmo	
η		Účinnost	[-]
P_{el}		Výstupní elektrický výkon	[W]
ϕ		Vstupní energie slunečního záření	[W]
I_{sc}		Proud nakrátko	[A]
U_{oc}		Napětí při chodu naprázdno	[V]
I_{MPP}		Optimální proud	[A]
U_{MPP}		Optimální napětí	[V]
P_{max}		Maximální výkon	[Wp]
UTC	Coordinated Universal Time	Koordinovaný světový čas	[hodina]
LC		Lokální korekce	[hodina]
LCT	Local clock time	Lokální hodinový čas	[hodina]
EOT	Equitation of time	Rozdíl mezi hodinovým a solárním časem	[min]
UT1		Světový čas	[hodina]
t_s		Solární čas	[hodina]
t_{vychod}		Místní východ slunce	[hodina]
t_{zapad}		Místní západ slunce	[hodina]
ω		Hodinový úhel	[°]
z		Zenit	[°]
A		Azimut	[°]
h		Obzorníková výška	[°]
ϕ		Zeměpisná výška	[°]
δ		Deklinace	[°]

j	Třída kinematické dvojice	[-]
i	Pohyblivost kinematického řetězce	[-]
n	Počet částí mechanismu	[-]
h_{vys}	Délka vysunutí lineárního motoru	[mm]

1 ÚVOD

Průmyslové automatizované řízení představuje použití řídicích systémů při řízení průmyslových zařízení a procesů, za současného snižování přítomnosti člověka a jeho zásahů ve výrobním procesu. Podíváme-li se do historie automatizovaného řízení a jeho rozvoje, lze říci, že si současná společnost uvědomuje potřebu snižování chyb vznikajících při řešení denní rutiny. Se snižováním množství chyb ve výrobním procesu zároveň souvisí snižování množství nákladů na jejich odstraňování.

Zavádění automatizovaných systémů je nákladné, nicméně nese s sebou úspory, kterých se dosahuje minimalizací prostojů, kvalitou výrobků a s ní související přidanou hodnotou, které se dosahuje díky přesnosti automatizace.

Modulárnost dnešních systémů a univerzálnost využití některých prvků dává možnost dlouhodobého využití již zakoupeného systému. Tedy automatizovaný systém si je schopen po delší dobu uchovat svou vnitřní hodnotu.

Co se solární energetiky týče, slunce je největším producentem energie v našem okolí, jeho vyzářený výkon je zhruba 3.83×10^{26} W. Na zemi však dopadá asi 45 miliardtin z tohoto výkonu. I přesto na celý povrch země dopadne za rok několikanásobně větší množství energie, než lidstvo vyprodukuje ve svých elektrárnách.

Vzhledem ke snižujícím se zásobám fosilních paliv a růst cen těchto komodit v posledních letech, společně s nedávným prohlášením některých vlád o plánovaném postupné uzavírání jaderných elektráren v reakci na katastrofu v Japonsku, je hledání alternativních zdrojů energií na pořadu dne.

V posledních letech lze na trhu s energiemi pozorovat velké množství změn. Společnost si uvědomuje potřebu vytvoření dostatečných alternativních zdrojů energie a vzhledem k těmto faktům se solární energie jeví jako vhodný zdroj. Avšak nacházíme zde velké množství problémů. Solární energii nelze získávat v noci a její ziskovost je silně závislá na počasí. Z těchto důvodů není solární energie v některých oblastech využitelná, její získávání je finančně nevýhodné, jelikož návratnost investic je nízká nebo žádná, a samotná solární elektrárna přináší pro elektrickou síť problém v oblasti regulace.

Naproti tomu jsou místa, kde je stavba solárních elektráren výhodná, například oblasti pouští. Zde solární elektrárny nezabírají ornou půdu a jsou zde celoročně stálé

podmínky. Další využití nacházejí solární elektrárny v tzv. ostrovních systémech, které se využívají v místech, kam není přivedena elektrická síť a zajišťují tak jediný zdroj energie.

Solární energie má před sebou slibnou budoucnost, avšak stávající řešení nejsou dostačující a nelze je považovat za zdroj, který by dokázal plně nahradit současné zdroje energie. Je také třeba vyřešit problematiku skladování této energie tak, aby mohlo dojít k jednoduché regulaci elektrické sítě.

1.1 Cíle diplomové práce

V této diplomové práci bylo řešeno vytvoření modelu fotovoltaického ostrovního systému a jeho řízení pomocí programovatelného automatu. Fotovoltaický ostrovní systém byl navržen tak, aby natáčel fotovoltaické panely za sluncem od jeho východu až do jeho západu.

Natáčení tohoto systému pracuje ve dvou osách. Natáčecí systém byl naprogramován tak, aby bylo možno volit jeden ze dvou módů. První mód řídí natáčení a naklápění fotovoltaických panelů v závislosti na čase, druhý řídí natáčení fotovoltaických panelů na základě signálů získaných z navrženého senzoru a natáčí se přímo za nejsilnějším zdrojem světla.

Tato práce se zabývá jednak principem fotovoltaického jevu, konstrukcí fotovoltaických panelů a možnostmi využití solární energie a dále pak principem a využitím programovatelných automatů. Následně je navržena konstrukce modelu, program řídicího automatu určeného k řízení modelu, sestavení senzoru a nabíjení baterií ze solárních panelů.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Využití elektrického proudu ze slunce

2.1.1 Sluneční energie

Sluneční energie vzniká jadernou přeměnou ve Slunci, jehož stáří se odhaduje na 4,6 miliardy let. Očekává se, že k vyčerpání zásob vodíku, který je hlavním palivem pro termojadernou fúzi ve slunci, nedojde dříve než za několik miliard let, proto tento zdroj energie můžeme označovat za obnovitelný.

Na zemi dopadá jedna dvoumiliardtina energie vyzařené sluncem, což je průměrně 1353 W/m^2 [1]. Tato hodnota se označuje jako solární konstanta. Přibližně 26% této energie se od atmosféry a mraků odráží zpět do vesmíru. Další část, přibližně 19% je atmosférou pohlcena a zahřívá ji. 51% dopadá na zemský povrch a je jím pohlceno. Zbylé 4% se od zemského povrchu odráží zpět do atmosféry.

Solární energie dopadající na zemský povrch, se přeměňuje na jiné formy energie. Přímo lze tuto energii využít pro výrobu elektrické energie, v zemědělství při pěstování rostlin a zemědělských produktů ve sklenících, při vytápění budov. Nepřímo je tato energie využívána v podobě, kdy se v přírodě přeměňuje na kinetickou energii vzdušných mas, chemickou energii biomasy apod.

Sluneční energie dopadající na zemské pevniny je 2700x větší než celosvětová spotřeba primární energie [1]. Dá se tedy říci, že je technicky možné zásobovat zemi energií právě ze slunce.

2.1.2 Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev, nebo-li fotoefekt, byl poprvé pozorován v roce 1839 Antoine-César Becquerelem (1788-1878), který pozoroval přírůstek elektrického napětí při manipulaci s elektrochemickými bateriemi se zinkovými a platinovými elektrodami, když je vystavil světlu. Fotoefekt byl poprvé prokázán v roce 1876 u polovodiče selenu. Tento fyzikální jev byl popsán a vysvětlen mnohem déle Albertem Einsteinem, který za tuto práci v roce 1921 získal Nobelovu cenu.

Při fotoelektrickém jevu dochází k uvolňování elektronů z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření. Uvolňování elektronů se označuje jako fotoelektrická emise.

Pohybují-li se uvolněné elektrony v látce, říkáme tomuto jevu vnitřní fotoelektrický jev. V případě, že látku opouštějí, mluvíme o vnějším fotoelektrickém jevu.

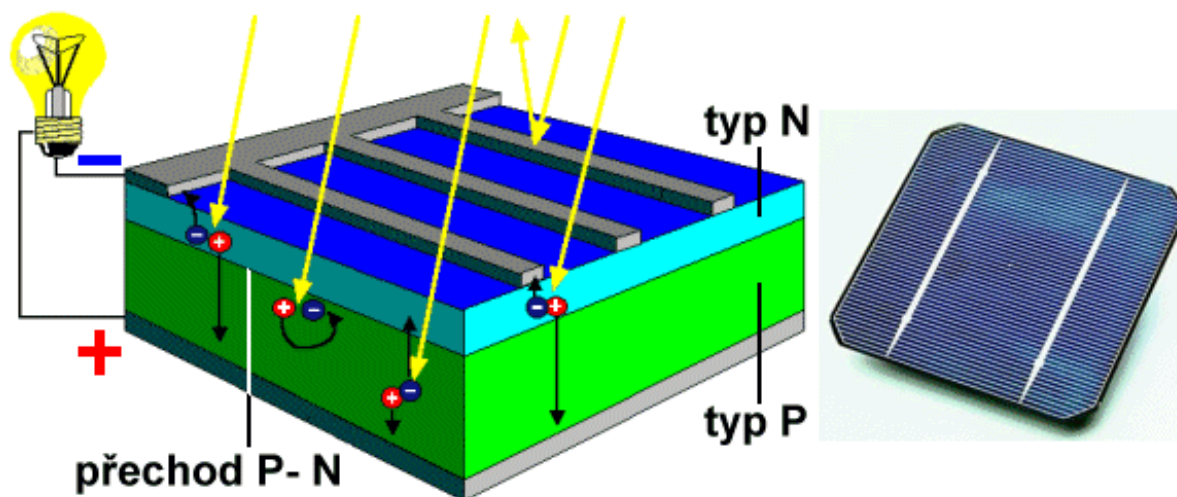
Pro každý kov existuje mezní frekvence, při níž dochází k fotoemisi. Tedy, bude-li frekvence dopadajícího světla menší než mezní frekvence, k fotoelektrickému jevu docházet nebude.

Elektrický proud je přímo úměrný intenzitě dopadajícího záření a rychlost emitovaných elektronů je přímo úměrná frekvenci dopadajícího záření.

2.1.3 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek pracuje na principu toku elektrického proudu mezi dvěma spojenými polovodiči s rozdílnými elektrickými vlastnostmi, na které dopadá sluneční záření. Ve své podstatě je článek polovodičová dioda. Základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Na ní je při výrobě vytvořena tenká vrstva polovodiče N. Obě vrstvy jsou odděleny tzv. P-N přechodem.

Při dopadu světla se začne v polovodiči probíhat fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalické mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Tím dojde k vytvoření napětí na P-N přechodu, které dosahuje zhruba 0,5V. Protékající proud je pak závislý na velikosti článku a na intenzitě světla.



Obr. 1: Princip činnosti fotovoltaického článku [2]

2.1.4 Účinnost fotovoltaických článků

Účinnost fotovoltaického článku udává, jaký podíl slunečního záření se v článku přemění na výkon. Výpočet je uveden v rovnici,

$$\eta = \frac{P_{el}}{\phi}, \quad (1)$$

kde P_{el} – výstupní elektrický výkon,
 ϕ - vstupní energie slunečního záření,
 η – účinnost.

Čím je vyšší účinnost, tím větší výstupní výkon na m^2 může článek vyrobit. Kromě zvolených materiálů hraje při výrobě svou roli i kvalita. V laboratorních podmínkách lze u křemíkových článků dosáhnout účinnosti až 25%, ale při běžné výrobě se dosahuje účinnosti do 20%. Porovnání článků a jejich účinnosti je porovnáno v následující tabulce.

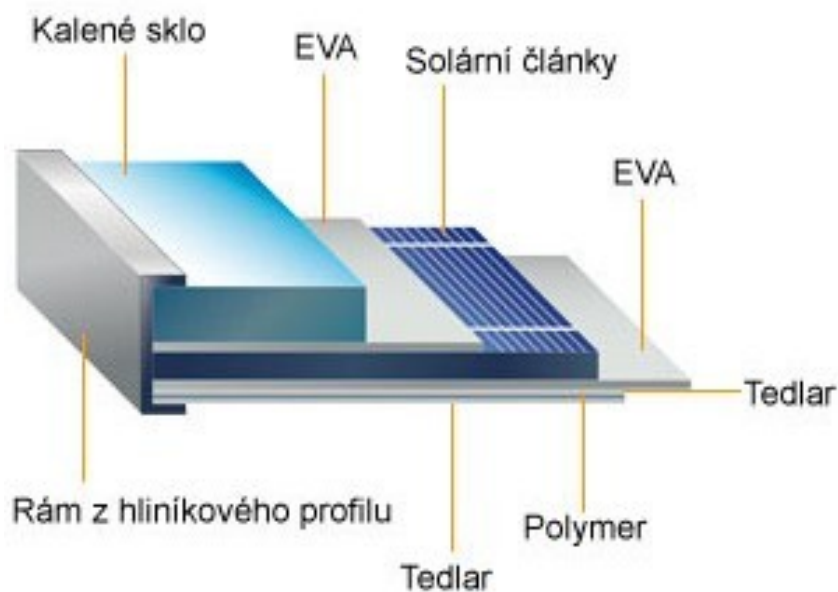
Materiál článku	Maximální laboratorní účinnost	Maximální provozní účinnost sériového článku	Typická modulární účinnost článku	Plocha potřebná na 1kW
Monokrystalický křemík	24,7%	21,5%	15%	6,7m ²
Polykrystalický křemík	18,5%	15%	14%	7,2m ²
Amorfní křemík	12,7%	8%	6%	16,7m ²
CIS /n CIGS	19,5%	11%	10%	10,0m ²
CdTe	16,5%	10%	7%	14,3m ²

Tab. 1: Účinnost různých materiálů fotovoltaických článků [3]

2.1.6 Solární panel

Samotný výkon a napětí vystupující z fotovoltaického článku je příliš malý a nemá tak velké využití. Proto je vyšší počet těchto článků složen do většího celku, který vytváří solární panel. V solárním panelu jsou články zapojeny sériovo-parallelně. Sériovým zapojením se dosahuje zisku vyššího napětí a parallelním zapojením získáváme vyšší proud.

Solární články jsou citlivé, snadno se rozbijí a korodují vlivem vlhka. Proto se solární články ukládají do speciálního plastového lože mezi svrchní skleněný kryt a spodní tedlarovou folii. Jako plastové lože se používá dvou tenkých fólií z etylenvinylacetátu (EVA), mezi které se fotovoltaické články zalaminují. Celá tato konstrukce je následně vložena do rámu z hliníkového profilu. Konstrukce je vyobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 2: Řez konstrukce solárního panelu

Kromě účinnosti existují i další ukazatele, které charakterizují solární panely. Jejich názvy, zkratky a popis významu je uveden v následující tabulce.

značka	název	význam
I_{sc} [A]	Proud nakrátko	Maximální proud protékající při spojení fotovoltaického modulu nakrátko.
U_{oc} [V]	Napětí při chodu naprázdno	Napětí v modulu, neprochází-li jím proud (není-li připojen spotřebič)
I_{MPP} [A]	Optimální proud	Optimální proud, při němž dává modul maximální výkon.
U_{MPP} [V]	Optimální napětí	Optimální napětí v modulu, při němž dává modul maximální výkon.
P_{max} [Wp]	Maximální výkon	Výkon fotovoltaického modulu při standardizovaných testovacích podmínkách (energie dopadající kolmo má hodnotu $E = 1 \text{ kW/m}^2$, teplota článku $T = 25 \text{ °C}$, průzračnost atmosféry $A_m = 1,5$).

Tab 2: Význam parametrů solárních panelů [4]

2.1.7 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy rozlišujeme na síťové a ostrovní systémy. Stejně tak je můžeme rozdělit je na statické a sledovací systémy.

2.1.7.1 Ostrovní systémy

Ostrovní systémy jsou autonomními systémy bez připojení do elektrické sítě. Jsou používány u malých aplikací, kde se nevyplatí zřizovat připojení do sítě. Hodí se hlavně pro aplikace s malým výkonem.

Tento systém je složen z fotovoltaických modulů, nabíjecího regulátoru, baterie a spotřebiče. Nabíjecí regulátor zajišťuje správné nabíjení baterie, tedy aby nedošlo k jejímu poškození a znehodnocení nedobíjením nebo přebíjením. Pokud dojde k vybití baterie pod určitou mez, regulátor odpojí spotřebiče do okamžiku, než dojde k opětovnému dobití baterie.

2.1.7.2 Síťové systémy

Jedná se o systémy připojené k rozvodné síti. Tyto systémy nejsou instalovány z důvodu nedostatku elektrické energie, jako je tomu u ostrovních systémů. Hlavními důvody bývá dosažení úspory energií, popřípadě i zisk a výroba elektrické energie, která do ovzduší nevypouští CO₂ a jiné škodlivé látky.

Síťové systémy můžeme rozlišit podle jejich velikosti a způsobu instalace. Ve své podstatě existují dvě varianty a to malé systémy a solární parky.

Malé systémy bývají většinou budovány na rodinných domech a průmyslových budovách. Zapojeny do sítě však bývají různě. Existují různé varianty, kdy je např. energie vyrobená systémem spotřebována přímo v daném objektu, a přebytky jsou prodávány do sítě. U další varianty je vyrobená energie prodávána do sítě přímo.

Solární parky jsou obvykle velké systémy, jejichž výkon se pohybuje v řádech stovek kWp až MWp a jsou budovány na rozsáhlých pozemcích. Na rozdíl od malých systémů jsou budovány s jediným cílem a tím je prodej energie přímo do elektrické sítě. Z tohoto důvodu jsou do elektrické sítě přímo napojeny.

2.1.8 Solární elektrárny

Solární elektrárny jsou řešeny dvěma způsoby, staticky nebo pomocí tzv. sledovačů (více se však používá anglický název solar tracker).

2.1.8.1 Statické systémy

Statické systémy se nepohybují a nesledují slunce. Jsou na stálo připevněny na objektu, nebo konstrukci. V našich podmínkách jsou orientovány na jih a jejich sklon je

ideálně 49° [5], jelikož v letních měsících sluneční kotouč vystupuje výše a v zimních měsících naopak níže. Přesný výpočet parametrů je možné zjistit například na PVGIS [5].

2.1.8.2 Solární sledovače

Solární sledovače představují systémy využívající pohonů k natáčení solárních panelů za sluncem tak, aby panely byly stále natočeny kolmo ke slunci a dosahovaly tak maximální výtěžnosti energie ze slunce.

Konstrukčně jsou tyto systémy řešeny různě. Nejčastěji jsou využívány speciální šnekové převodovky, navržené tak, aby bezpečně udržely radiální a axiální zatížení a stejně tak, aby přenášely velký krouticí moment. Rotace může probíhat v jedné ose. Tyto převodovky je možné kombinovat tak, aby mohly provádět natáčení ve dvou osách.

Jedná se o moderní provedení šnekové převodovky, které je přímo určené pro solární systémy. Díky těmto převodovkám je možno řešit solární systémy jednoduše a efektivně. Společnost IMO GmbH přišla například s řešeními solárních sledovačů pro parkoviště, pro umístění na střechy budov apod. s využitím těchto převodovek.

2.2 Programovatelné automaty

2.2.1 Co jsou programovatelné automaty

Programovatelné automaty, označované také zkratkou PLC (Programmable Logic Cotroller), jsou uživatelsky programovatelné řídicí systémy. Již během první poloviny 80.let se staly nejvýznamnějším řídicím prostředkem pro řízení technologických procesů, výrobních linek a strojů. Postupně vytlačily a nahradily řídicí počítače a minipočítače, stejně tak i malou automatizaci reprezentovanou průmyslovými regulátory, bezkontaktní logikou a reléovou logikou.

Hlavním rysem, kterým se PLC odlišují od běžných počítačů je, že program vykonávají v cyklech a jsou uzpůsobeny pro napojení na periferie a to pomocí digitálních a analogových vstupů a výstupů. S rozvojem PLC se začaly používat i další moduly, určené pro sběr dat z PLC; funkční moduly určené např. pro polohování a další specifické moduly.

PLC se dělí do několika kategorií z hlediska typu a velikosti konstrukce. Dle typu konstrukce je možno PLC rozdělit na „modulární“ a „kompaktní“ systémy.

- **Kompaktní systémy** jsou menší systémy PLC. Jsou řešeny jako jedno celkové zařízení, které obsahuje jak digitální, tak analogové vstupy a výstupy, základní podporu pro komunikaci a další komponenty.
- **Modulární systémy** jsou větší systémy, které lze rozdělit do jednotlivých modulů. Každý modul má pak svou vlastní specifickou funkci. Následně je možné je sestavit ve velké celky s využitím specifických modulů.

Dle velikosti konstrukce se rozlišují PLC především podle počtu vstupů a výstupů, které jsou schopny obsloužit. V současné době se rozdělení ustálilo následně:

- Velmi malé
- Malé
- Střední
- Velké

Hlavní výhodou PLC je rychlá realizace systému, což je dáno hlavně díky univerzálnosti. Při řešení systému stačí vybrat kompaktní PLC které se nejvíce blíží požadavkům, nebo u větších a rozsáhlejších systémů ho sestavit z jednotlivých modulů.

Systémy PLC byly navrženy do drsných průmyslových podmínek. Hlavním znakem pro ně je spolehlivost, odolnost proti rušení a robustnost. Většina PLC bývá vybavena vnitřními diagnostickými funkcemi.

Nejsilnější výhodou je možnost rychlých úprav a změn v zadání. Tato výhoda vytváří z PLC silný nástroj, díky čemuž nahradily reléové automaty.

2.2.4 Programování PLC

2.2.4.1 Princip fungování PLC

S ohledem na historický vývoj PLC, kdy si zařízení kladla za úkol nahradit reléovou a bezkontaktní logiku byla architektura orientována ke zpracovávání binárních informací. HW jádrem bývali bitové procesory. Ty však byly nahrazeny mikroprocesory, jejichž nízká cena a vysoký výkon umožňuje využití i u velmi malých PLC.

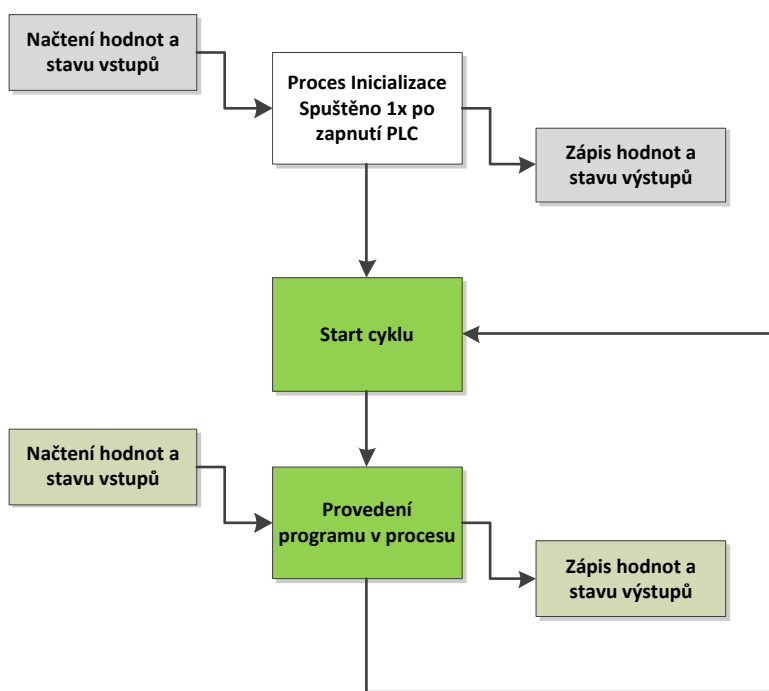
Centrální jednotka současných PLC obsahuje mikroprocesory, mikrořadič nebo specializovaný řadič zaměřený na rychlé provádění instrukcí [6].

V žádném PLC nechybějí instrukce pro základní logické operace s bitovými operandy, jako jsou například operace logického součtu a součinu, negace, instrukce pro realizaci klopných obvodů apod. Současná PLC nabízejí mnohem rozsáhlejší soubor instrukcí. Soubor

instrukcí je většinou rozdělen do různých knihoven. Nechybí knihovny pro různé aritmetické výpočty, regulační obvody, nebo třeba i práci s protokoly pro přenos dat po sběrnici. Dnešní vývojová prostředí umožňují vytvářet vlastní funkční bloky a doplnit si tak program o svou vlastní sadu instrukcí.

2.2.4.2 Operační systém PLC

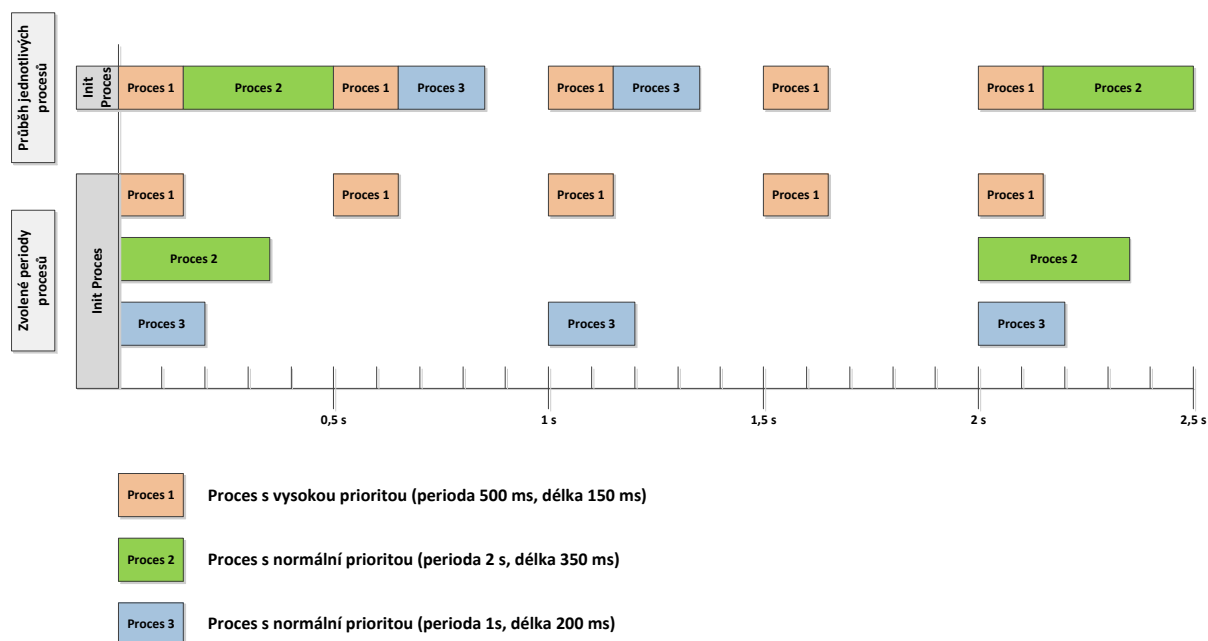
PLC jsou zpravidla vybaveny jednoduchým operačním systémem reálného času. Ten vykonává dohled nad jednotlivými procesy. Uživatelský program je vykonáván cyklicky, viz. Obr. 3. Při zapnutí PLC proběhne inicializační proces a následně již probíhají samostatné procesy v cyklu dle nastavené periody. Každý proces pracuje tak, že si načítá hodnoty z paměti a stavy vstupů. Zpracované hodnoty zapíše do paměti a nastaví stavy na výstupech.



Obr. 3: Cyklické vykonávání procesů [7]

Z důvodu mnohonásobného provádění úloh je do PLC zařízení implementován systém tzv. multitaskingu. Nejde však o paralelní běh úloh. Úlohy jsou vykonávány jedním procesorem. Procesům jsou přiřazeny priority 1 až 4. Čím vyšší číslo, tím vyšší je priorita procesu. Vykonávání procesů je pak následně postaveno za sebe kdy přednost mají procesy s vyšší prioritou a následně proces s nižším označením. Tento princip je naznačen na Obr. 4.

Pokud nastane situace, kdy je vykonáván proces s nižší prioritou, proces s vyšší prioritou ho přeruší, vykoná se a přerušovaný proces se dokončí následně.



Obr. 4: Multitasking - řazení jednotlivých procesů při výkonu aplikace [7]

2.2.4.3 Programovací jazyky

Programovací jazyky v PLC jsou názorné a uživatelsky přívětivé. Programování v grafických jazycích připomíná kreslení schémat. Díky jednoduchosti se dají programovací jazyky velmi rychle naučit a jsou tak dostupné i pro projektanty systémů, či konstruktéry strojů.

V současnosti jsou programovací jazyky standardizované normou IEC/EN 61131-3 (dříve IEC 1131-3). Pro ČR byla tato norma přijata jako ČSN EN 61131-3 Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky. Touto normou se v dnešní době řídí většina významných výrobců PLC. V této normě je definováno 5 základních programovacích jazyků, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Kodifikované označení v angličtině		Označení obvyklé v němčině		Vhodný název v češtině
zkratka	název	zkratka	název	
LD	Ladder Diagram	KOP	Kontaktplan	reléové schéma
FBD	Function Block Diagram	FUP	Funktionplan	jazyk funkčních bloků
IL	Instruction List	AWL	Anweisungsliste	jazyk mnemokódů
ST	Structured Text	ST	Strukturierter Text	strukturovaný text
SFC	Sequential Function Chart	AS	Ablaufsprache	jazyk sekvenčního programování

Tab. 2: Programovací jazyky pro PLC definované normou IEC/EN 61131-3

2.2.5 Vývojové prostředí DetStudio

Vývojové prostředí DetStudio je návrhové prostředí pro řídicí stanice z produkce firmy AMiT. Prostředí se skládá z několika nástrojů, jejichž vzájemnou kombinací lze vytvářet

velmi komplexní aplikace včetně ovládacího a informačního rozhraní člověk - stroj. Velmi podobné vývojové prostředí je například součástí vývojových prostředků pro PLC od firem Bosch Rexroth (IndraLogic), Siemens (Simatic) a další.

2.2.5.1 Procesní stanice

Pod pojmem procesní stanice je možno si představit jakoukoliv řídicí stanice z produkce firmy AMiT, ve které je nahrán operační systém NOS. Ve spolupráci s návrhovým prostředím DetStudio umožňuje běh aplikace jednotným způsobem s větší či menší mírou přenositelnosti vyplývající z rozdílných IO konfigurací stanic. Nad operačním systémem NOS běží aplikace, která sama realizuje algoritmus nutný k řízení technologie, které je sama součástí.

2.2.5.2 Editor procesů a podprogramů

Editor procesů a podprogramů je ve vývojovém prostředí DetStudio hlavním nástrojem, ve kterém se do procesů a podprogramů jednoduchým způsobem zapisují příkazy programovacího jazyka a vytváří se algoritmická část řídicí aplikace.

Tvorba aplikace je ve skutečnosti programováním. Prakticky v každé aplikaci je část zapsána v jazyce ST. Od programování v jazyce C se výrazně liší menším stupněm složitosti a menší mírou podpory při vytváření aplikace. Programování je zde sestavováním již připravených funkčních modulů. Ve spojitosti s několika jednoduchými konstrukcemi jazyka ST, které umožňují větvení programu nebo realizaci programových smyček. Vedle toho stojí specializovaný modul **Let**, který umožňuje zápis výrazů podobných běžným programovacím jazykům.

V prostředí lze však části algoritmů vytvářet ještě za pomoci reléových schémat (označeno jako RS), druhý možný způsob je zápis instrukčního listu (označeno jako jazyk LA). Obě tyto metody mají výraznou výhodu v rychlosti vykonávání, cenou za to je ovšem omezené množství použitelných modulů.

2.2.5.3 Editor funkčních bloků

Pokud by uživateli nestačila nabídka modulů a knihoven nabízená standardně v rámci programu DetStudio, má možnost vytvořit si vlastní funkční bloky, které si může uspořádat a uložit do vlastních knihoven.

Funkčnímu bloku je možné nadefinovat několik vstupů a výstupů. Se vstupy je následně možno pracovat uvnitř bloku a spočítat nebo vyhodnotit několik proměnných, které lze následně zapsat do výstupů. Funkční blok pracuje s vlastními proměnnými, což je výhodou, jelikož není třeba definovat různé pomocné procesní proměnné. Tyto pomocné proměnné jsou nadefinovány uvnitř bloku a nepřekáží mezi ostatními procesními proměnnými.

2.2.5.4 Procesní proměnná

Procesní proměnná je datový objekt umístěný v procesní databázi a slouží k uchovávání dat (nejčastěji čísel) v průběhu běhu aplikace. Procesní proměnné lze sdílet mezi jednotlivými řídicími stanicemi prostřednictvím nativního protokolu DbNet a lze tak realizovat síťové aplikace.

2.2.5.5 Alias

Alias je datový objekt, který může nabývat pouze dvou hodnot a to TRUE nebo FALSE. Je umístěn v procesní proměnné typu integer nebo long jako jeden její bit. Vytvořením aliasu nevznikne nový datový objekt, ale pouze vazba na určitý bit v procesní proměnné.

2.2.5.6 Editor obrazovek

Editor obrazovek je dalším nástrojem, sloužícím pro tvorbu ovládacích a informačních obrazovek na řídicích stanicích AMiT vybavených zobrazovacím panelem. Obrazovky slouží k předávání informací mezi řídicím systémem a obsluhou.

V editoru obrazovek se vytváří sled obrazovek, vkládají se sem grafické prvky a realizuje se ovládací část aplikace, která usnadňuje styk obsluhy s technologií. Pomocí proměnných se jednotlivé ovládací prvky obrazovky navazují na algoritmickou část aplikace. Pomocí skriptu je v editoru obrazovek možno řešit i některé algoritmické problémy. Výrobce je však doporučeno ponechat jejich řešení v co největší míře v procesech.

2.2.5.7 Kanály a signály

Převážná většina řídicích stanic má různé typy vstupů a výstupů, prostřednictvím kterých algoritmy v aplikaci ovlivňují okolí řídicí stanice. Konfigurace těchto signálů je závislá na typu řídicí stanice. Kanálem se označuje množina signálů stejného typu, které jsou logicky svázány k sobě (např. osmice digitálních vstupů). Z aplikace je možné odkazovat se jak k celým kanálům najednou, tak k jednotlivým signálům.

2.2.5.8 Ostatní funkce

Řídicí stanice společnosti AMiT umožňují vést systémový i uživatelský provozní deník. Pro vedení deníku, definování a volbu formátu položek deníku slouží editor hlášení provozního deníku. Stejně tak je ve stanici možnost využívat archivace provozních proměnných.

Prostředí dále obsahuje Editor komunikace se stanicí (změna data, nahrávání aplikace, IP konfigurace, nahrávat operační systém), personifikace projektu (připojení jména autora a verze k projektu s popisem funkce), psaní poznámek, toolbox pro výběr funkčních bloků z knihoven, zprávy a seznamy chyb.

2.2.6 Servisní a vizualizační nástroj ViewDet

ViewDet je servisní a vizualizační nástroj, který je určen pro monitoring a ladění aplikací běžících v řídicích systémech firmy AMiT, sběr a archivaci dat jimi vytvořených a v neposlední řadě i k vizualizaci těchto dat. Tím doplňuje a rozšiřuje možnosti vývojového prostředí DetStudio.

2.2.7 Průmyslová komunikace

Průmyslová komunikace se v dnešní době využívá k připojení vzdálených vstupů a výstupů. Stále více je využíváno chytrých senzorů, které v sobě obsahují A/D převodníky a jsou schopny předávat informace řídicímu systému v číselné podobě. Stejně tak mohou být připojena další zařízení, jako jsou snímače čárových kódů, operátorské panely, speciální prostředky pro bezdrátovou komunikaci apod. Takovéto přenášení informací je podstatně snadnější a bezpečnější než přenos analogového signálu.

Průmyslovou komunikaci obstarávají průmyslové sběrnice, nejčastěji RS485 a RS232, na kterých probíhá sériová komunikace. Tuto komunikaci obstarávají protokoly, např. Modbus, Profibus DP, CAN. V poslední době je průmyslová komunikace prováděna i prostřednictvím průmyslového ethernetu, který se stále více prosazuje.

2.2.7.1 RS-485

RS-485 představuje standard sériové komunikace využívaný převážně v průmyslovém prostředí např. ke komunikaci mezi řídicími systémy, připojení rozšiřujících modulů, nebo připojení rozšiřujícího terminálu. Umožňuje vytvoření dvou vodičového poloduplexního vícebodového sériového spoje, dále obvykle umožňuje vytváření sítí skládajících se z

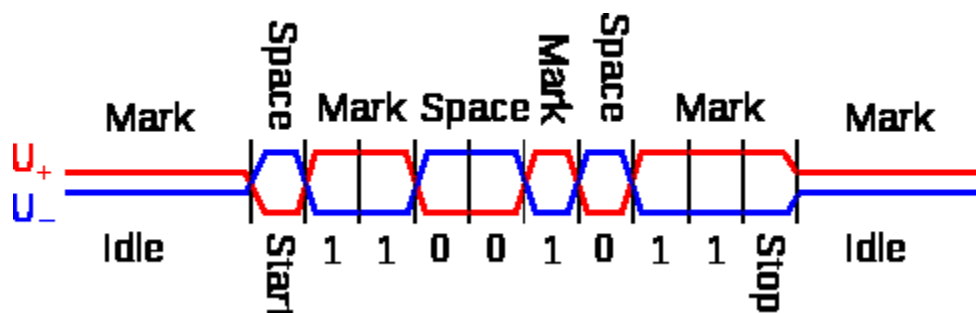
maximálně 32 zařízení a komunikaci na vzdálenost až 1200m. Výhodou je možnost vytvořit linku RS485 z rozšířeného standardu RS232 pomocí jednoduchého převodníku.

Přenosová rychlost může být až 10 Mbit při vzdálenosti do 10m. Standardně jsou však ke komunikaci užívány nižší rychlosti uvedené v Tab. 3. Nižší komunikační rychlosti jsou užívány hlavně z důvodu možnosti komunikace na větší vzdálenost.

Komunikační rychlost [Bd]	Maximální délka vedení [m]
19200	1200
38400	600
57600	300
115200	200

Tab. 3: Komunikační rychlosti linky RS-485 [8]

RS-485 využívá ke komunikaci dvou vodičů označených písmeny A a B. Vodiče mohou být také označeny jako „-“ a „+“. A (-) označuje tzv. invertovaný vodič a B (+) označuje neinvertovaný vodič. Logická úroveň je dána rozdílem napětí mezi vodiči A a B. V klidovém stavu by měl mít vodič B (+) větší napětí než vodič A (-). Přijímač rozlišuje logický stav „1“ (označovaný také jako Mark nebo OFF) v okamžiku, kdy je rozdíl napětí $A - B < -200\text{mV}$, a logický stav „0“ (Space nebo ON) v okamžiku kdy je rozdíl $A - B > 200\text{ mV}$. Ukázka přenosu znaku 211 je popsána na Obr. 5. Tímto způsobem dochází k eliminaci rušení signálu. Rušení se díky tomuto způsobu většinou přičítá oběma vodičům stejně a rozdíl mezi napětími je pak stále stejný.



Obr. 5: Ukázka přenosu znaku 211 na RS-485

Přenos dat se uskutečňuje pomocí 7 nebo 8 bitových rámců se startbitem a jedním či více stopbity, případně paritním bitem.

2.2.7.2 Komunikační protokol Modbus

Komunikační protokol Modbus je otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci mezi zařízeními (PLC, terminály) vyvinutý firmou Modicon v roce 1979. Původně byl protokol navržen na sběrnici RS232, ale brzy se přešlo na RS485 z důvodu její vyšší spolehlivosti a možnosti propojení více zařízení. V současnosti jsou podporovány i komunikační media jako

jsou rádiové sítě, nebo síť ethernet s využitím protokolu TCP/IP. Protokol je flexibilní, ale zároveň je jednoduchý pro implementaci; z toho důvodu jej začali různí výrobci implementovat do svých zařízení.

Popis protokolu

Komunikace probíhá formou požadavek-odpověď. V každém požadavku je specifikovaná funkce pomocí kódu funkce. Orientační popis základních funkcí a jejich popis je popsán v Tab. 4. Na sběrnici je vždy umístěno jedno „master“ zařízení. Pro verzi Modbus TCP jej označujeme jako server a může jich být na sběrnici umístěno více. Ostatní zařízení jsou „slave“. U verze Modbus TCP je označujeme jako klient. Slave (klient) zařízení tedy odpovídají na dotazy zařízení v pozici Master (Server).

Funkce č.	Popis
1	Čtení stavu binárních výstupů.
2	Čtení binárních vstupů.
3	Čtení výstupních registrů
4	Čtení vstupních registrů
5	Nastavení jednoho binárního výstupu.
6	Nastavení jednoho výstupního registru.
7	Čtení stavu zařízení.
15	Nastavení binárních výstupů
16	Nastavení výstupních registrů

Tab. 4: Definice základních funkčních kódů pro protokol Modbus [9]

Modbus po sériové lince

Modbus preferuje sériovou komunikační sběrnici standardu RS485. Preferovaný režim sériové linky je 19200 baudů, 8 datových bitů a sudá parita.

Protokol Modbus definuje dva sériové režimy a to modbus RTU a modbus ASCII. Tyto režimy určují formát vysílaných dat. Podpora režimu Modbus RTU je povinná, zatímco podpora režimu modbus ASCII je nepovinná. Velmi důležité je, že všechny jednotky na sběrnici musí pracovat ve stejném režimu.

Adresace zařízení na sériové lince je dána tak, že zařízení Master musí mít adresu 0 a vytváří broadcastové vysílání, tedy jeho zpráva je zaslána všem zařízením, ale žádné na ní nemusí odpovídat. Zařízení Slave mají adresu 1 až 247 a vytvářejí unicastové vysílání, kdy po přijetí zprávy od Mastera a zpracování požadavku vyšlou odpověď. Adresy 248 až 255 jsou v rezervě.

2.3 Astronomie

2.3.1 Čas

Čas je základní fyzikální veličinou všech běžně používaných soustav veličin, včetně soustavy SI. Čas vyjadřuje dobu trvání děje, nebo určitého okamžiku v časové škále.

Měření času je však problémové a v minulosti prodělalo velké množství změn. Čas se z počátku měřil pomocí pozorování objektů, které vykazovaly největší přesnost, jako byly Slunce, Měsíc a hvězdy. Bylo jednoduché podle nich určit aktuální čas a období. Využívaly se sluneční hodiny, které ukazovaly čas pomocí polohy slunce na obloze. Díky znalosti mechaniky se první mechanické hodiny objevily na konci 13. století, jejich přesnost se nadále díky znalostem mechaniky zlepšovala. V 18. století již přesnost mechanických hodin umožňovala změřit nerovnosti v otáčení Země, což umožnilo odpoutání měření času v závislosti na pozorování astronomických pohybů.

V současnosti jsou však využívány atomové hodiny, jejichž jednotkou je atomová sekunda, která je definována jako 9 192 631 770 kmitů, které odpovídají přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury izotopu Cesia 133.

Stejně jako měření času, prodělal v minulosti změny i kalendář. Původní starořímský kalendář, který měl 355 dní v roce, nahradil Juliánský kalendář, jenž v roce 45 př. n. l. zavedl Julius Caesar. Juliánský kalendář vycházel z měření, které stanovovalo délku roku na 365,25 dne. Tímto způsobem došlo ke změně, kdy obyčejný rok měl 365 dní a jednou za 4 roky byl rok přestupný. Problémem tohoto kalendáře však bylo, že rok netrvá 365,25 dne, ale 365,24220 dne, což znamenalo, že se Juliánský kalendář oproti realitě opozdil o jeden den za 133-134 let. Z tohoto důvodu došlo roku 1582 k reformě kalendáře a přechodu na současný Gregoriánský kalendář.

2.3.1.1 Juliánské datum

Juliánské datum, nebo také Juliánský den (označovaný JD nebo JDT) je spojitá časová škála užívaná hlavně v astronomii pro měření dlouhých časových úseků. Je definováno jako počet uplynulých dní od poledne světového času dne 1. ledna roku 4713 př. n. l. Užívá se hlavně pro určování okamžiků v pohybu nebeských těles a jako časová škála při určování periody u proměnných hvězd.

2.3.1.2 Měření času z pohledu astronomie

V astronomii se stále používají časové škály odvozené z rotace Země, které jsou považovány za nerovnoměrné.

Základní časovou stupnicí vázanou na rotaci země je hvězdný čas, který je definován jako hodinový úhel jarního bodu, a jehož jednotkou je hvězdný den daný jako časový interval mezi dvěma kulminacemi jarního bodu. Místní, nebo greenwichský hvězdný čas je pak dán hodinovým úhlem jarního bodu v místě pozorovatele nebo na nultém poledníku. Od hvězdného času je odvozen čas světový UT1.

Hvězdný čas se liší od slunečního času tím, že hvězdný den má 23 hodin 56 minut a 4,09 sekund, zatímco sluneční den má rovných 24 hodin. Tento rozdíl je dán tím, že sluneční den je měřen vůči slunci, zatímco hvězdný den je měřen vůči poloze hvězd. Země se tak posouvá po oběžné dráze kolem slunce a po dokončení otáčení tak není ve stejné poloze vůči slunci jako v počátku otáčení. Tímto způsobem dochází k tomu, že země udělá za jeden rok o jednu otáčku méně vůči slunci, než vůči hvězdám.

2.3.1.3 Hvězdný čas:

Hvězdný čas byl dříve určován pomocí měření. Dnes je pro jeho určení užíván přepočít ze slunečního času. Užívá se aproximace vycházející z naměřených dat. Přepočít je prováděn z lokálního času, při znalosti dne v roce a zeměpisné šířky.

Rozdíl časů (Equation of Time)

Rozdíl časů je rozdíl mezi běžným hodinovým časem a časem solárním. Rozdíl je vždy stejný pro všechny pozorovatele na zemském povrchu.

Pro tento výpočet je užita aproximační rovnice (2) [10]. V literatuře lze nalézt velké množství různých aproximačních rovnic. Většinou se liší ve způsobu volení vstupního parametru, který vychází ze dne v roce.

$$EOT = 0,258 \cos x - 7,146 \sin x - 3,648 \cos 2x - 9,228 \sin 2x \quad (2)$$

Kde úhel x je definován jako funkce závislá na dni v roce.

$$x = \frac{360 \cdot (N - 1)}{365,242} \quad [^\circ] \quad (3)$$

kde N je den v roce počítaný od 1. ledna.

Převod na hvězdný čas

Převod lokálního hodinového času LCT na solární čas t_s je vysvětlen pomocí rovnice (4). Zde je k lokálnímu hodinovému času přičten rozdíl časů a korekce lokální zeměpisné šířky LC.

$$t_s = LCT + \frac{EOT}{60} + LC \quad (4)$$

Korekce lokální zeměpisné šířky je spočtena v rovnici (5). Každé časové pásmo má i svou standardní zeměpisnou šířku. Například SEČ je roven UTC +1 a standardní zeměpisnou šířkou pro něj je 15°.

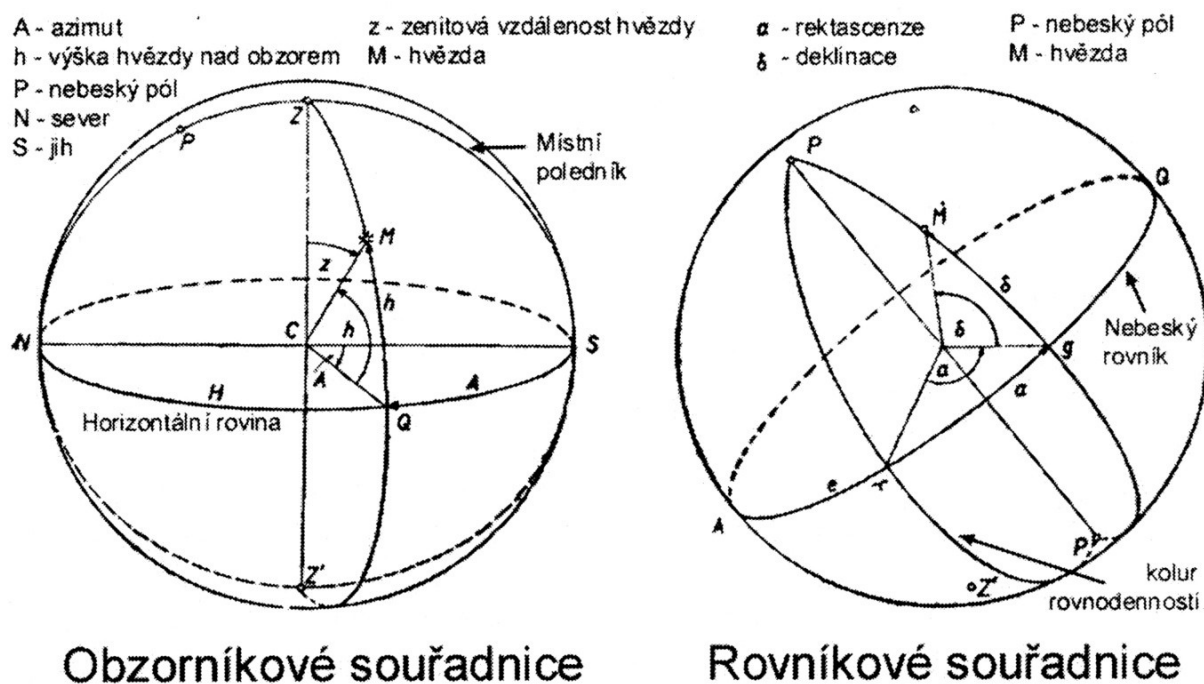
$$LC = \frac{\text{zeměpisná šířka} - \text{standardní zeměpisná šířka}}{15} \quad (5)$$

Pokud se pracuje i s letním časem, je třeba tuto informaci při výpočtu zohlednit a to přičtením jedné hodiny k solárnímu času v rovnici (4).

2.3.2 Astronomické souřadnice

Astronomické souřadnice vznikly z důvodu identifikace jednotlivých astronomických objektů. Existují souřadné systémy, které jsou závislé na místě pozorování a systémy, které je možné bez přepočítání používat na libovolném místě zeměkoule.

V astronomii nejčastěji používané souřadnicové systémy jsou obzorníkové, rovníkové a ekliptikální. Ty jsou vyobrazeny na následujícím obrázku a detailněji jsou popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 6: Astronomické souřadnicové systémy [11]

2.3.2.1 Obzorníkové (horizontální)

Základní roviny:

- rovina horizontu (rovina kolmá na směr tíže)
- rovina místního poledníku (meridián)

Souřadnice:

Azimut A – úhel, který svírá rovina procházející zenitem a pozorovaným objektem s rovinou místního meridiánu

Výška hvězdy h – úhlová vzdálenost objektu od horizontu ($0 - 90^\circ$)

Zenitová vzdálenost z – úhlová vzdálenost objektu od zenitu ($z = 90 - h$)

Pro identifikaci hvězdy stačí uvést buď výšku hvězdy nad obzorem, nebo zenitovou vzdálenost.

2.3.2.2 I. rovníkové (ekvatoriální)

Základní roviny:

- světový rovník (průmět zemského rovníku na nebeskou sféru)
- rovina místního poledníku (meridián)

Souřadnice:

Hodinový úhel ω – úhel, který svírá rovinu procházející oběma póly a tělesem s rovinou místního meridiánu (měří se ve směru denního pohybu oblohy, vyjadřuje se ve stupních nebo časové míře, 1 hodina = 15°)

Deklinace δ – úhel (na deklinační kružnici) od roviny světového rovníku k tělesu ($0 - 90^\circ$; pro sever od světového rovníku jsou hodnoty deklinace kladné a na jih záporné)

2.3.2.3 II. rovníkové (ekvatoriální)

Základní roviny:

- Světový rovník
- Kolur rovnodennosti (poledník procházející bodem jarní a podzimní rovnodennosti a oběma póly)

Souřadnice:

rektanescenze α – úhel od koluru rovnodennosti k rovině procházející oběma póly a pozorovaným objektem (měří se proti směru denního pohybu, nejčastěji v časové míře)

- počítá se směrem od jarního bodu proti směru chodu hodinových ručiček při pohledu ze severního pólu

deklinace δ – úhel od roviny světového rovníku k pozorovanému objektu

Jarní bod je průsečíkem světového rovníku a ekliptiky, Slunce se v tomto nachází v den jarní rovnodennosti (vlivem precese se tento bod posunuje)

2.3.2.4 Ekliptikální

Základní roviny:

- ekliptika – rovina procházející oběma póly ekliptiky a jarním bodem

Souřadnice:

Ekliptikální délka λ – úhel, který svírá rovina procházející póly ekliptiky a jarním bodem s rovinou procházející oběma póly ekliptiky a pozorovaným objektem

Ekliptikální šířka β – úhel, který měříme na šířkové kružnici od roviny ekliptiky k objektu ($0 - 90^\circ$, na sever kladně a na jih záporně)

2.3.2.5 Transformace souřadnic

Pokud jde o transformaci mezi dvěma souřadnými systémy se shodným počátkem, lze ji provést přímo ve sférických nebo pravoúhlých souřadnicích. Obecnou rotaci lze vždy

popsat maximálně třemi po sobě následujícími jednoduchými rotacemi. Každá z těchto rotací vede k transformaci, kterou lze vyjádřit násobením vektoru definujícího pravoúhlé souřadnice bodu v dané soustavě, tzv. rotační maticí. Označíme-li úhel otočení jako θ , jsou příslušné rotační matice v pravotočivé soustavě rovny:

$$R_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_2(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R_3(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Při převodu mezi obzorníkovými a ekvatoriálními souřadnicemi jde o otočení kolem osy kolmé k rovině místního poledníku o úhel $90^\circ - \varphi$ (φ je zeměpisná šířka). Vztah mezi hodinovým úhlem a rektanescenzí je dán rovnicí

$$\omega = t_s - \alpha, \quad (9)$$

kde t_s je místní hvězdný čas. Následně je možné provést transformaci pomocí následující transformační rovnice.

$$\begin{bmatrix} r \cdot \sin(z) \cos(A) \\ r \cdot \sin(z) \sin(A) \\ r \cdot \cos(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\omega) & 0 & -\cos(\omega) \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos(\omega) & 0 & \sin(\omega) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \cdot \cos(\delta) \cos(\omega) \\ r \cdot \cos(\delta) \sin(\omega) \\ r \cdot \sin(\delta) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Výpočtem transformace jsou následně získány rovnice:

$$\sin(z) \cos(A) = -\cos(\varphi) \sin(\delta) + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (11)$$

$$\sin(z) \sin(A) = \cos(\delta) \sin(\omega) \quad (12)$$

$$\cos(z) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (13)$$

2.3.3 Výpočet pozice slunce

Při pohybu naší planety vykonává slunce zdánlivý pohyb po obloze. Tato doba pohybu se nám průběžně v roce mění v závislosti na dni v roce. Pro vytvoření algoritmu, který by řídil natáčení, bylo třeba vypočítat a určit jednotlivé rovnice a parametry pro tyto výpočty.

Pro naše účely bylo třeba přepočítat běžný hodinový čas na solární čas, vzít v úvahu deklinaci, tedy odklon roviny zemského rovníku od slunce. K výpočtu pak bylo následně třeba využít rovnice pro přepočet mezi souřadným systémem.

2.3.3.1 Deklinace slunce viděného ze země.

Deklinace je jednou ze dvou souřadnic v 1. rovníkové soustavě. Jedná se o úhel odklonění roviny rovníku od dopadajících slunečních paprsků. Pro přibližný výpočet deklinace lze užít následující aproximovanou rovnici

$$\delta = -23,44^\circ \cdot \cos \left[\frac{360^\circ}{365} \cdot (N + 10) \right], \quad (14)$$

kde N je počet dní od 1. ledna a číslo 10 v $N-10$ je počet dní po prosincovém slunovratu. Pro přesnější výpočet deklinace je však třeba užít výpočet deklinace uvedený v rovnici (15). U rovnice (14) je nepřesnost až 2° . Takováto nepřesnost může mít významný vliv na přesnost výpočtů, ve kterých se deklinace vyskytuje.

$$\delta = \sin^{-1} \left[\sin(-23,44^\circ) \cdot \cos \left[\frac{360^\circ}{365,24} \cdot (N + 10) + \frac{360^\circ}{\pi} \cdot 0,0167 \sin \left(\frac{360^\circ}{365,24} \cdot (N - 2) \right) \right] \right] \quad (15)$$

2.3.3.2 Hodinový úhel

Hodinový úhel je úhlová vzdálenost mezi poledníkem pozorovatele a poledníkem jehož rovina obsahuje slunce. Před pravým polednem je úhel záporný a po poledni nabývá kladnou hodnotu. Výpočet hodinového úhlu lze provést ze solárního času a je popsán v následující rovnici.

$$\omega = 15 \cdot (t_s - 12) \quad (16)$$

2.3.3.3 Výška nad obzorem

Výška nad obzorem h je definována jako úhel mezi slunečními paprsky a horizontální rovinou pozorovatele. Alternativou k výšce nad obzorem je zenit, který lze dopočítat pomocí rovnice

$$z = 90^\circ - h. \quad (17)$$

2.3.3.4 Azimutová vzdálenost a zenitová vzdálenost

Azimutová vzdálenost a zenitová vzdálenost definují pozici pozorovaného objektu v obzorníkových souřadnicích. Ze znalosti Azimutové vzdálenosti a zenitové vzdálenosti lze přepočtem určit polohu pozorovatele na zemi a opačně z polohy na zemi lze dopočítat polohu slunce ze znalosti zemské polohy.

Výpočet azimutové vzdálenosti a výšky nad obzorem je možné provést ze tří úhlů a to ze zeměpisné výšky, hodinového úhlu a deklinace. Výpočet vychází z rovnic (11), (12) a (13). Úpravou těchto rovnic lze získat vztahy v následujících rovnicích.

$$z = \cos^{-1}(\sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega)) \quad (18)$$

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\sin(z)}\right) \quad (19)$$

$$A = \cos^{-1}\left(\frac{-\cos(\varphi) \sin(\delta) + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega)}{\sin(z)}\right) \quad (20)$$

Tyto rovnice lze následně využít např. při tvorbě algoritmu. Je však třeba implementovat rozhodování pro azimutovou vzdálenost, jelikož arcus sin má obor hodnot $\langle -\pi/2; \pi/2 \rangle$ a arcus cos $\langle 0; \pi \rangle$, proto je třeba pro určení správného azimutu využít jak rovnici (19), tak i rovnici (20).

2.3.3.5 Výpočet východ a západ slunce

Výpočet východu a západu slunce se provádí tak, že se nejprve z rovnice (13) vyjádří hodinový úhel ω a tím je získána rovnice

$$\omega = \cos^{-1}\left(\frac{\cos(z) - \sin(\varphi) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta)}\right). \quad (21)$$

Do předchozí rovnice se následně za hodnotu zenitu dosadí jeho maximální hodnota resp. hodnota, které zenit nabývá při východu a západu slunce. S ohledem na zakřivení země je užívána jeho civilní hodnota, tedy $90,5^\circ$. Dále se dosadí zeměpisná šířka a deklinace pro aktuální den. Tímto je získán úhel pootočení země mezi východem slunce a pravým polednem ($t_s = 12$ hodin). Velikost tohoto úhlu je shodná s velikostí úhlu pootočení mezi pravým polednem a západem slunce.

Úpravou rovnice (4), je možno odvodit následující rovnice pro výpočet východu a západu slunce.

$$t_{vychod} = 12 - \frac{\omega}{15} - \frac{EOT}{60} - LC \quad [hodiny] \quad (22)$$

$$t_{zapad} = 12 + \frac{\omega}{15} - \frac{EOT}{60} - LC \quad [hodiny] \quad (23)$$

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Celá práce na modelu solární elektrárny byla rozdělena do několika částí, které na sebe navazovaly. Tyto části byly rozděleny na:

- Tvorba konceptu, volba řídicího PLC a volba pohonů.
- Návrh a výroba konstrukce.
- Návrh elektroniky a zapojení v rozvaděči.
- Návrh a tvorba programového vybavení.
- Ekonomické a závěrečné zhodnocení.

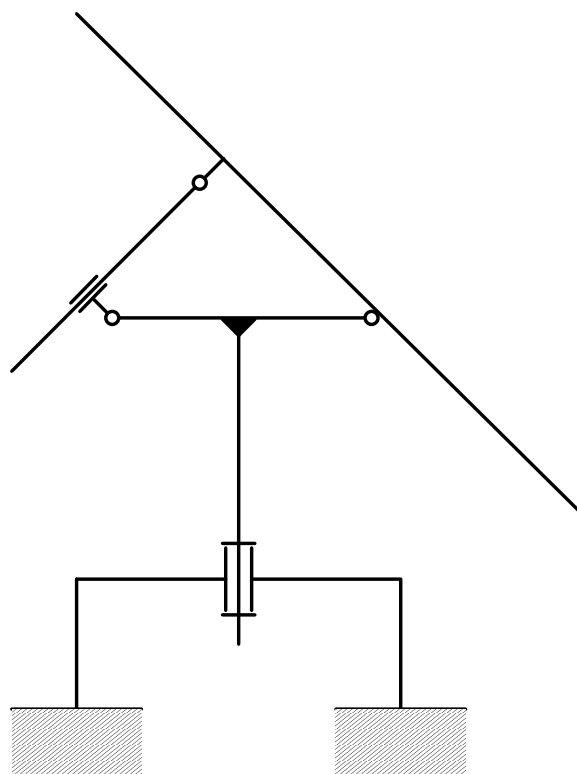
3.1 Konstrukce modelu

Základním zadáním bylo vytvoření modelu, který musí být schopen natáčení okolo vertikální osy ideálně v rozsahu 0° až 360° bez jakéhokoliv omezení. Panely musely být schopny se naklápět z horizontální do vertikální roviny a zpět, tedy v intervalu 0° až 90° .

Dalším požadavkem bylo využití solárních panelů Solartec, které již katedra Aplikované kybernetiky měla zakoupeny.

3.1.1 Návrh kinematického schématu

Kinematické schéma zobrazené na Obr. 7 bylo navrženo dle základních požadavků. Bylo zohledněno i předpokládané použití motorů a jejich uchycení na konstrukci.



Obr. 7: Základní kinematické schéma solárního sledovače

3.1.2 Volba pohonů

Před samotným zahájením tvorby bylo třeba vybrat pohony. Ty byly zvoleny s ohledem na požadavky systému:

- Napájení na 12V nebo 24V
- Nízká spotřeba energie
- Dostatečný pracovní rozsah
 - Motor pro otáčení musí umět pracovat v rozmezí 0-360°
 - Motor pro vysouvání musí pracovat v rozsahu umožňující naklopení panelů v rozsahu 0-90°
- Pomalé otáčení pohonu, tedy motor v kombinaci s vysokým převodem
- Dostatečný moment a síla
- Jednoduché ovládání motoru, ideálně pomocí řídicího signálu
- Integrované nebo přídavné senzory pro indikaci polohy natočení, popřípadě vysunutí

Tyto parametry splňovaly motory BELIMO. Pro otáčení byl zvolen motor BELIMO LU24A-SR a pro naklápění motor BELIMO LH24A-SR200. Tyto motory jsou řízeny pomocí

velikosti napětí v rozmezí 2-10V DC a vrací informaci o poloze natočení (vysunutí) pomocí napětí 2-10V DC.

Díky těmto vlastnostem byly tyto motory snadno připojitelné k řídicímu systému a bylo možno je snadným způsobem ovládat. Systém tak zná polohu motoru v každém okamžiku jeho činnosti. Dojde-li k odpojení motorů od napájení, zůstane celý systém v poloze a nepřetočí se jinam. Případně je možné s pohony manipulovat pomocí systému přímo na pohonech.

3.1.3 Návrh konstrukce

Již od počátku bylo počítáno s tím, že konstrukce bude zhotovena z hliníkových profilů. Hlavní výhodou tohoto řešení bylo vytvoření lehké konstrukce s vysokou tuhostí, kterou bylo možné jednoduše sestavit a případně jednoduše a rychle přemístit.



Obr. 8: Návrh sestavy ve 3D

Dalším požadavkem katedry aplikované kybernetiky bylo využití dvou již zakoupených solární panelů SOLARTEC STR36-26/12; i s ohledem na tento požadavek bylo při celém návrhu třeba postupovat.

Celá konstrukce byla vytvořena v programu Autodesk Inventor 2011. Díky navržení konstrukce v tomto 3D CAD systému, bylo možné sledovat fungování kinematiky jednotlivých vazeb a možností nebezpečí vzniku různých kolizí, které by mohly v průběhu provozu modelu vzniknout a zapříčinit tak poškození, nebo i znehodnocení zařízení.

Při návrhu konstrukce modelu byl kladen důraz na volbu co největšího množství prvků, které jsou snadno dostupné, popřípadě je možné je jednoduchým a rychlým způsobem upravit (např. oříznutím, vyvrtáním děr apod). Při konstrukci byl brán ohled i na zvolené pohony. Výběrem pohonů se zabývá kapitola 3.1.2 Volba pohonů.

Některé části konstrukce bylo třeba vyrobit. Jednalo se hlavně o destičky pro uchycení pohonů a hřídel pro otáčení mechaniky naklápění panelů. Celá konstrukce je vyobrazena na Obr. 8. Výkres sestavy je přiložen v příloze č.1.

Na základě vytvořené výkresové dokumentace byla vyrobena a sestavena kompletní fyzická sestava, která byla osazena pohony a panely.

Nejprve byla spočtena pohyblivost soustavy, resp. kolik stupňů volnosti má dané kinematické schéma dle rovnice

$$i = 3 \cdot (n - 1) - \sum j = 3 \cdot (4 - 1) - \sum 3 \cdot 2 + 2 = 1, \quad (24)$$

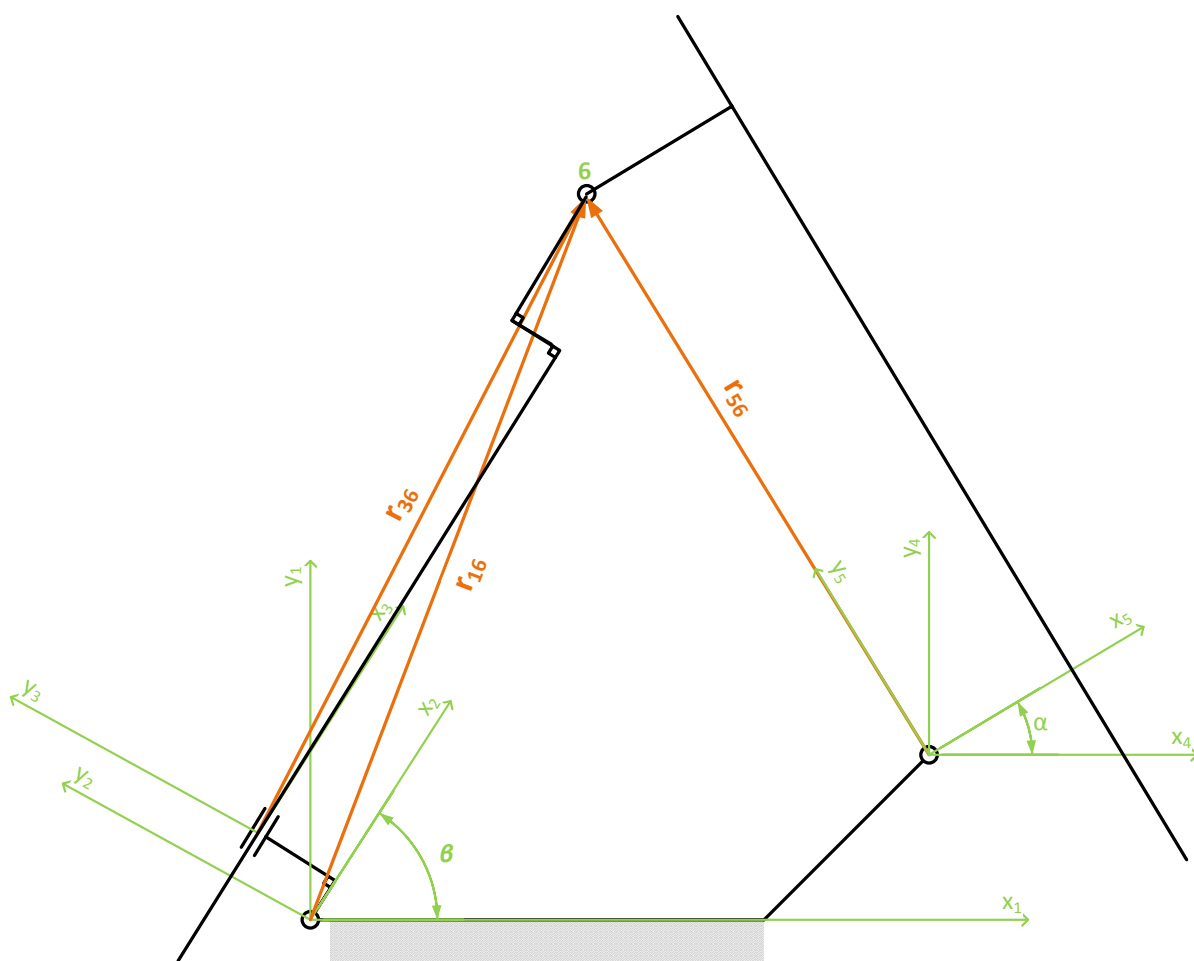
kde j - třída kinematické dvojice,

i - pohyblivost kinematického řetězce,

n - počet částí mechanismu.

Kinematické schéma obsahuje 4 navzájem propojené části, 3 rotační vazby a 1 vazbu posuvnou. Po dosazení do rovnice (24) byla zjištěna pohyblivost systému rovna 1. Tento výpočet potvrzuje závislost naklopení pouze na jednom parametru a tím je délka vysunutí označená na Obr. 10 jako $h_{vyš}$. Ostatní parametry vyobrazené na tomto kinematickém schématu jsou konstantní.

Do kinematického schématu na Obr. 10 bylo zavedeno 6 souřadných systémů. Vycházelo se z toho, že nás zajímá pohyb jednoho bodu. Tento vektor byl následně vypočítán dvěma cestami tak, aby je bylo možné dát do rovnosti a dopočítat výsledné závislosti mezi jednotlivými parametry.



Obr. 10: Zavedení vektorů do kinematického schématu

Pomocí Brátovy maticové metody byly získány následující dvě rovnice. Pronásobením matic a vektorů byly získány 2 vektory, které bylo možné dát do rovnosti.

$$r_{16} = T_{12} \cdot T_{23} \cdot r_{36} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c - e \\ d \\ 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$r_{16} = T_{14} \cdot T_{45} \cdot r_{56} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & l \\ 0 & 1 & g \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k + h \\ f \\ 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Postupnými úpravami vypočtených rovnic byla získána rovnice

$$h_{vys}(\alpha) = \frac{\sqrt{44520 \cdot \cos \alpha - 184650 \cdot \sin \alpha + 188414.44}}{2} - 34,2, \quad (27)$$

pro výpočet délky vysunutí motoru h_{vys} v závislosti na úhlu naklonění α . Tato rovnice byla následně přepočtena tak, aby z délky vysunutí h bylo možné získat úhel naklonění α . Výsledkem přepočtu je rovnice

$$\alpha(h) = \sin^{-1} \left(\frac{A \cdot H + B \sqrt{(A^2 + B^2 - H^2)}}{(A^2 + B^2)} \right), \quad (28)$$

kde $A = -184650$,

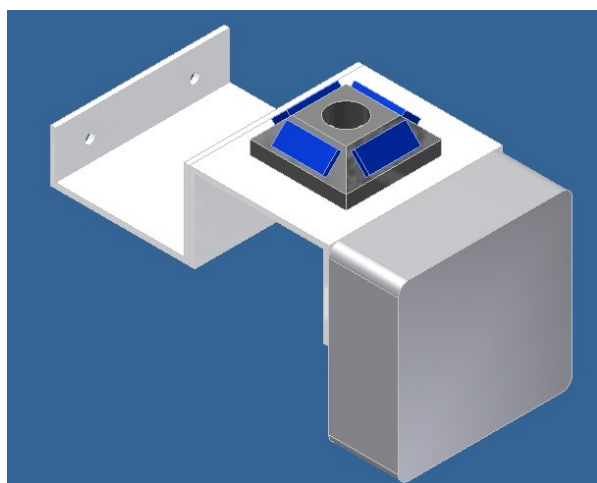
$B = 44520$,

$H = 4 \cdot h^2 + 273.6 \cdot h - 183735.88$.

Ze získaných rovnic (27) a (28) se vycházelo při tvorbě samotného programového vybavení řídicího systému, popsaného v kapitole 3.3.1.3 Funkční bloky.

3.1.5 Držák solárního senzoru

Držák solárního senzoru pro snímání polohy slunce viz. Obr. 11. byl vyroben tak, aby jej bylo možné přichytit na konstrukci, přidělat k němu solární řezy, vyvést jednotlivé dráty a



přidělat k němu box pro měřící obvod.

Solární senzor je založen na principu, kdy dochází k porovnávání množství proudu, které je dodáváno ze solárních řezů. Ty jsou od sebe odkloněny o 90°. K tomuto účelu bylo třeba vyrobit plastovou destičku, na kterou by bylo možno solární řezy přidělat.

Obr. 11: Držák solárního senzoru

3.2 Elektronika solárního sledovače

Po dokončení konstrukce bylo třeba navrhnout a sestavit elektronickou část celého systému. Tato část se skládala z následujících kroků:

- Vyhodnocení požadavků na elektroniku a řídicí systém.
- Výběr vyhovujících zařízení k již předem daným komponentům.
- Navržení a výroba senzoru pro snímání polohy slunce.
- Navržení a výroba doplňkových obvodů a snímačů (snímání napětí na baterii, měření proudu ze solárních řezů)
- Rozvržení celého systému v rozvaděči a vytvoření schématu zapojení.
- Zapojení všech elektronických částí a řídicího systému.

3.2.1 Základní popis systému

Vstupem do systému je zdroj 230V AC transformovaný na 24V DC. Výstupem systému je 24V DC.

Systém je možno rozdělit do dvou částí. První částí je řídicí systém, který je mozkem celého zařízení a odebírá elektrický proud. Druhou částí je elektronická část s regulátorem, která zajišťuje nabíjení baterií a dostatek proudu pro spotřebič ze solárních panelů a případně z baterií.

3.2.1.1 Elektronika řídicího systému

Řídicí část systému byla vytvořena tak, aby zajistila následující činnosti:

- zpracování signálů ze senzorů
- sběr dat z externích modulů
- vyhodnocování získaných signálů a dat
- předávání informací o stavu systému uživateli
- řízení systému pomocí výstupních signálů

Jako řídicí systém bylo využito PLC Amit AMiNi2DS, který měla katedra aplikované kybernetiky k dispozici. Jelikož systém má pouze 2 použitelné analogové vstupy (zbylých 6 vstupů je určenou pouze na měření teploty), byl k tomuto systému dokoupen externí modul DMM-UI8RDO8. Tento modul obsahuje 8 analogových vstupů a 8 spínacích relé.

S ohledem na požadavek vyhodnotit efektivitu systému, bylo třeba k systému připojit wattmetr. Jako vhodné zařízení byl zvolen wattmetr CARLO GAVAZZI VMU-E + VMU-X. Tento modul umí měřit hodnoty aktuálního proudu, napětí, výkonu a celkového proudu.

Oba moduly komunikují s řídicím systémem přes sběrnici RS485 pomocí protokolu modbus viz. kapitola 2.2.7.2 Komunikační protokol Modbus. Ostatní měřicí zařízení a senzory byly k systému připojeny skrze analogové vstupy a výstupy.

3.2.1.2 Elektronická část

Elektronická část se skládá z regulátoru nabíjení Phocos CML05 pro 12/24V, ke kterému jsou připojeny dva solární panely SOLARTEC STR36-12, dvě baterie Varta 12V 60Ah a spotřebič. Regulátor nabíjení ukazuje i stav nabití baterie pomocí tří diod. V případě, že je odběr proudu spotřebiče vyšší, než je příkon ze solárních panelů, regulátor zajistí kompenzaci odběru proudu z baterií.

Schéma zapojení je popsáno v příloze č.2. Aby bylo zajištěno, že na výstupu ze systému bude 24V, bylo třeba solární panely a baterie zapojit sériově.

3.2.2 Senzor pro určení směru slunečního svitu

Senzor byl vyhotoven ze 4 řezů solárních článků Solartec SCC2.Z8-24, které byly sestaveny do párů a navzájem od sebe odkloněny o 90°. K tomuto senzoru bylo třeba zhotovit obvod, který by zajišťoval, že na výstupu z obvodu bude rozsah proudu 0-20 mA, jelikož tuto hodnotu jsme byly schopni měřit.

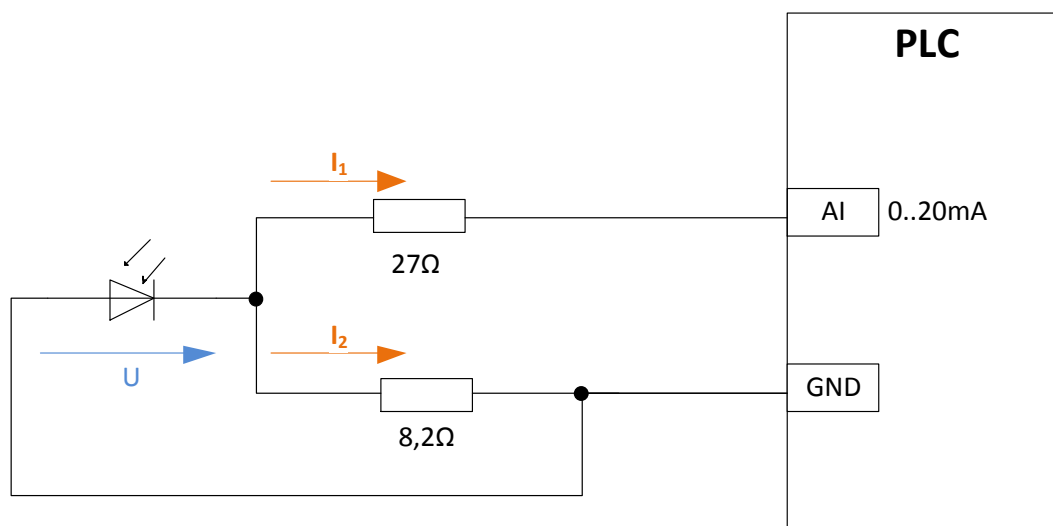
K článkům byly připájeny drátky. Články byly přidělány na speciálně vyrobený plastový držáček destiček vyobrazený na Obr. 11 a vodiče od článků byly svedeny a přidělány na speciální obvod.

Při návrhu obvodu pro měření proudu ze solárních řezů se vycházelo z parametrů řezu solárního článku uvedených v následující tabulce.

Technický údaj	Hodnota
Napětí naprázdno (U_{oc})	0,57 V
Proud nakrátko (I_{sc})	90 mA
Výkon (P_m)	40 mW

Tab. 5: Technické údaje pro jeden kus řezu solárního článku Solartec SCC2.Z8-24

Obvod pro měření získaného proudu byl navržen podle prvního Kirchhoffova zákona o proudech a uzlech. Tento zákon říká, že v libovolném uzlu je součet vstupních proudů roven součtu proudů výstupních. Schéma zapojení obvodu je popsáno na následujícím obrázku.



Obr. 12: Schéma zapojení proudového odporového děliče

Na PLC byl na analogovém vstupu nastaven rozsah měření na 0...20mA. Při volbě odporů pro dělič proudů se vyšlo z rovnice (29) a (30). S ohledem na dostupné odpory a potřebný rozsah byly zvoleny odpory $R_{m\check{r}} = 27\Omega$ a $R_2 = 8,2\Omega$. Výpočtem popsáním v rovnici (30) získáváme poměr mezi proudem tekoucím na měřicí analogový vstup a proudem vznikajícím v solárním řezu. Tohoto poměru bylo následně možné využít při tvorbě přepočtu v programovém vybavení.

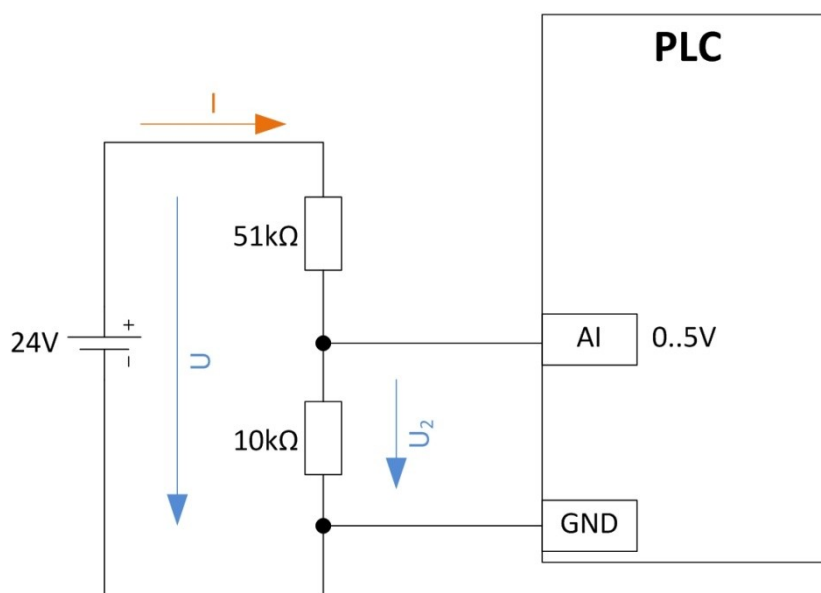
$$I_{SC} = I_{m\check{r}} + I_2 \quad (29)$$

$$I_{m\check{r}} = I_{SC} \cdot \frac{R_2}{R_{m\check{r}} + R_2} \quad (30)$$

Tímto způsobem bylo možno zajistit měření hodnoty proudu ze solárního článku a následně tuto hodnotu vyhodnocovat v PLC zařízení. Od držáčku senzoru vede jeden čtyřžilový kabel, který vede měřený signál do rozvaděče k PLC.

3.2.3 Senzor pro indikaci stavu nabití baterie

Senzor pro indikaci stavu nabití baterie je řešen pomocí napětového, neboli odporového děliče. Baterie jsou zapojeny sériově a jejich celkové napětí je přibližně 24V. Jsou-li baterie úplně nabité, bude jejich napětí 25,44V a budou-li vybité, bude jejich napětí menší než 23,96V [1].



Obr. 13: Schéma zapojení odporového děliče.

Na PLC je možné měřit napětí pouze v rozsahu od 0-10V nebo 0-5V. Z toho důvodu bylo třeba sestavit pomocný měřicí obvod, díky kterému by bylo možné převést napětí, které může být na baterii nižší (měřitelné napětí do 5V, nebo 10V).

Pro tento účel byl sestaven obvod s napěťovým děličem zobrazeným na Obr. 13. S ohledem na dostupné odpory a potřebný rozsah byl zvolen rozsah měření 0...5V na PLC a odpory $R_1 = 51\text{k}\Omega$ a $R_2 = 10\text{k}\Omega$. Výpočtem popsáním v následující rovnici získáváme poměr mezi napětím na baterii a naměřeným napětím.

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U \cdot \frac{10}{10 + 51} = U \cdot \frac{10}{61} \rightarrow U = U_2 \cdot 6,1 \quad (31)$$

3.2.4 Zapojení systému

Aby celý systém fungoval, bylo potřeba zvolit zdroj napájení. Zdrojem napájení pro modul CARLO GAVAZZI VMU-E + VMU-X je 230V AC. Ostatní moduly jsou napájeny pomocí 24V DC. Jako zdroj 24V byl zvolen zdroj Amit AZ1 24V/1.2A.

Do obvodu byl vložen 2A hlavní jistič, jenž byl předepsán výrobcem zdroje 24V DC. Za ním následuje hlavní vypínač přimontovaný na dveře rozvaděče, aby nebylo třeba neustále otevírat rozvaděč. V obvodu je připojena dioda, pro jasnou signalizaci, že je systém zapnutý.

3.2.4.1 Schéma zapojení systému

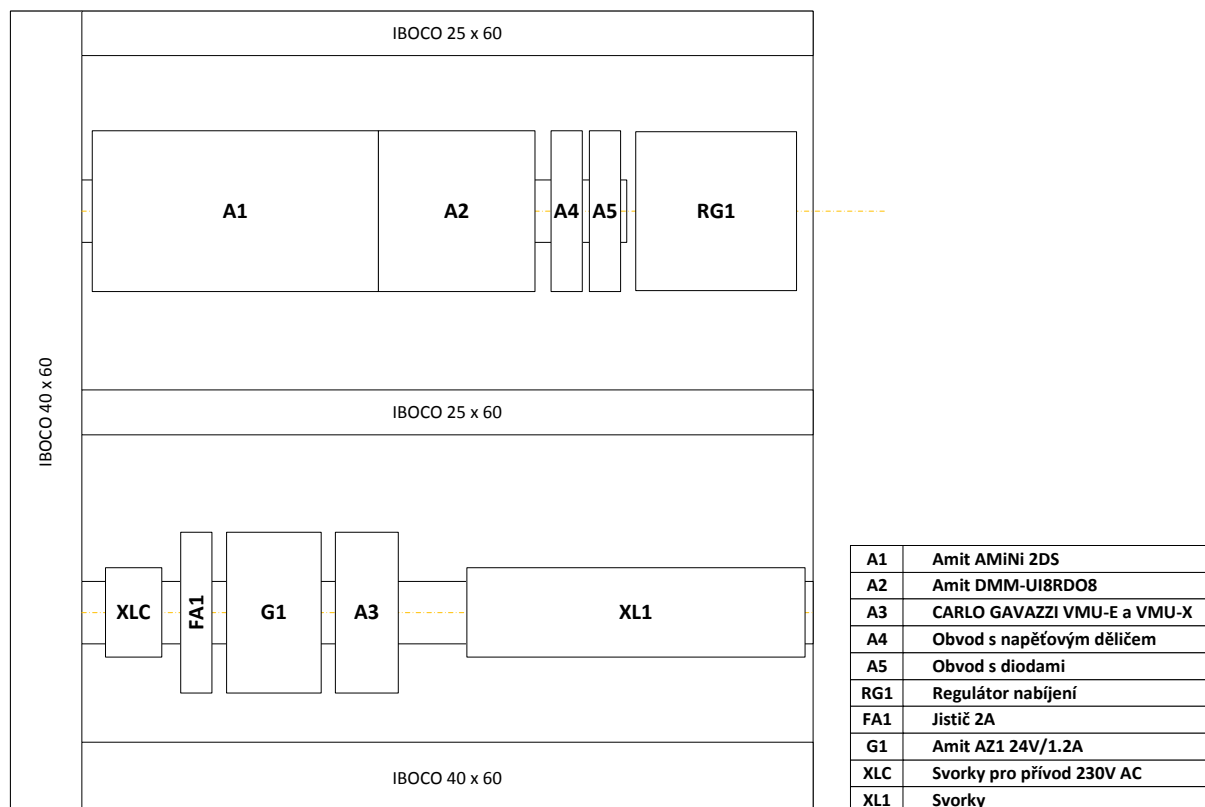
Schémat zapojení systému bylo třeba vytvořit, aby bylo možné celý systém zapojit. Celé schéma je vyobrazeno v příloze č.2. Zde je popsáno zapojení jednotlivých prvků systému. Toto schéma v projektu umožňovalo:

- Rozvrhnout potřebné množství materiálu a volit správnou velikost rozvaděče.
- Provést jasné zapojení a eliminovat možnost vzniku chyb v obvodech.
- Lepší orientaci v zapojení v případě potřeby provést změny v zapojení.

Dále toto schéma umožňuje jednoduchou výměnu poškozené součásti, popřípadě opětovně vyrobit celé zařízení, nebo celé zařízení upravit.

3.2.4.2 Výběr a zapojení rozvaděče

Výběr a zapojení rozvaděče bylo provedeno na základě schématu zapojení, resp. množství a velikosti prvků v systému. Byl zvolen rozvaděč RITTAL AE 1350 o rozměrech 500 x 500 mm s vnitřní montážní deskou o rozměrech 449 x 449 mm.



Obr. 14: Schéma rozložení prvků v rozvaděči

Schéma rozložení prvků v rozvaděči je zobrazeno na Obr. 14. Zde bylo třeba postupovat dle velikosti modulů. Pro uchycení jednotlivých modulů byly instalovány 2 DIN lišty. Mezi tyto řady byly instalovány lišty pro vedení kabeláže IBOCO o výšce 60mm a šířce 25mm, nebo 40mm, dle předpokládaného množství a velikosti kabeláže která lištou bude vedena. Na lištu byly také přichyceny svorky označené jako XLC pro přívod 230V AC a jeho následné rozvedení a svorky XL1 pro rozvedení 24V DC a připojení jednotlivých externích zařízení.

Rozvržení systému do rozvaděče a vyvázání kabelů bylo závěrečným krokem tvorby elektroniky celého systému. Tento krok byl proveden na základě schématu zapojení. Veškeré kabely a moduly byly doplněny o popisky tak, aby bylo zřejmé, o co se jedná a bylo možné si je rychle a snadno spojit s dokumentací.

Na základě zapojení systému mohlo dojít k jeho naprogramování a uvedení do provozu. Fáze přípravy celého systému byla důležitou a nedílnou součástí celé práce. Výsledné zapojení rozvaděče je vyobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 15: Výsledné vyvázání a zapojení rozvaděče

3.3 Řídicí systém solárního sledovače

Řídicí systém Amit AMiNi2DS je malý kompaktní řídicí systém. Jeho výroba již byla ukončena a byl nahrazen řídicím systémem AMiNi4D. Rozdíl mezi těmito systémy je pouze v analogových vstupech, kdy nový systém má již všech 8 vstupů kombinovaných, zatímco starý systém má kombinované pouze 2 a zbylých 6 slouží pouze pro měření teploty.

Systém byl navržen ve vývojovém prostředí DetStudio od firmy Amit. Způsob programování v tomto prostředí byl popsán v 2.2.5 Vývojové prostředí DetStudio.

3.3.1 Koncept řídicího systému

Řídicí systém byl koncipován tak, aby byl schopen vyhodnotit, řídit a změřit natáčení a naklápění solárních panelů. Uživatelé umožňuje volit mezi dvěma typy řízení:

- Statické
- Dynamické

Statický typ řízení umožňuje nastavit systém do defaultní polohy, nebo do uživatelem zvolené polohy. Naopak dynamický systém dává uživateli možnost volit mezi natáčením pomocí senzoru nebo pomocí vypočtených hodnot polohy slunce.

Do systému je dále možno pomocí obrazovek nastavit:

- Polohu (zeměpisná šířka a zeměpisná výška)
- Čas
- Datum
- Časové pásmo
- Letní čas

3.3.2 Tvorba řídicí systém PLC

Do PLC bylo naprogramováno 8 řídicích procesů, 5 podprogramů a 5 funkčních bloků. Tyto části programu se starají o chod celého systému a vyhodnocování stavu systému.

3.3.2.1 Procesy

Procesy jsou jádrem celého systému. Probíhá v nich vyhodnocování jednotlivých hodnot a situací. V řídicí jednotce jsou následující procesy:

- ProcINIT – Základní proces spouštěný při zapnutí PLC, slouží k zavádění programu, je zaveden pouze jednou a to okamžitě po startu.
- ProcIDLE – Proces pro řízení obrazovek
- Hlavní – proces běžící na pozadí a řídicí základní běh programu
- Modbus – Proces pro získávání informací z externích jednotek pomocí sběrnice modbus
- Dekodovani – proces pro převádění načtených pomocí sběrnice na reálné hodnoty
Modbus z periférií, nebo získaný z analogových vstupů.
- RezimSlunce – proces pro řízení pomocí načtených hodnot ze senzoru pro natáčení za sluncem
- RezimCas – proces pro řízení pomocí času.
- Archivace – proces pro ukládání a archivování naměřených hodnot

Proces ProclNIT

Proces ProclNIT je proveden vždy pouze jednou a to po zapnutí PLC. Dochází v něm k zavedení základních konfigurací systému, jako je:

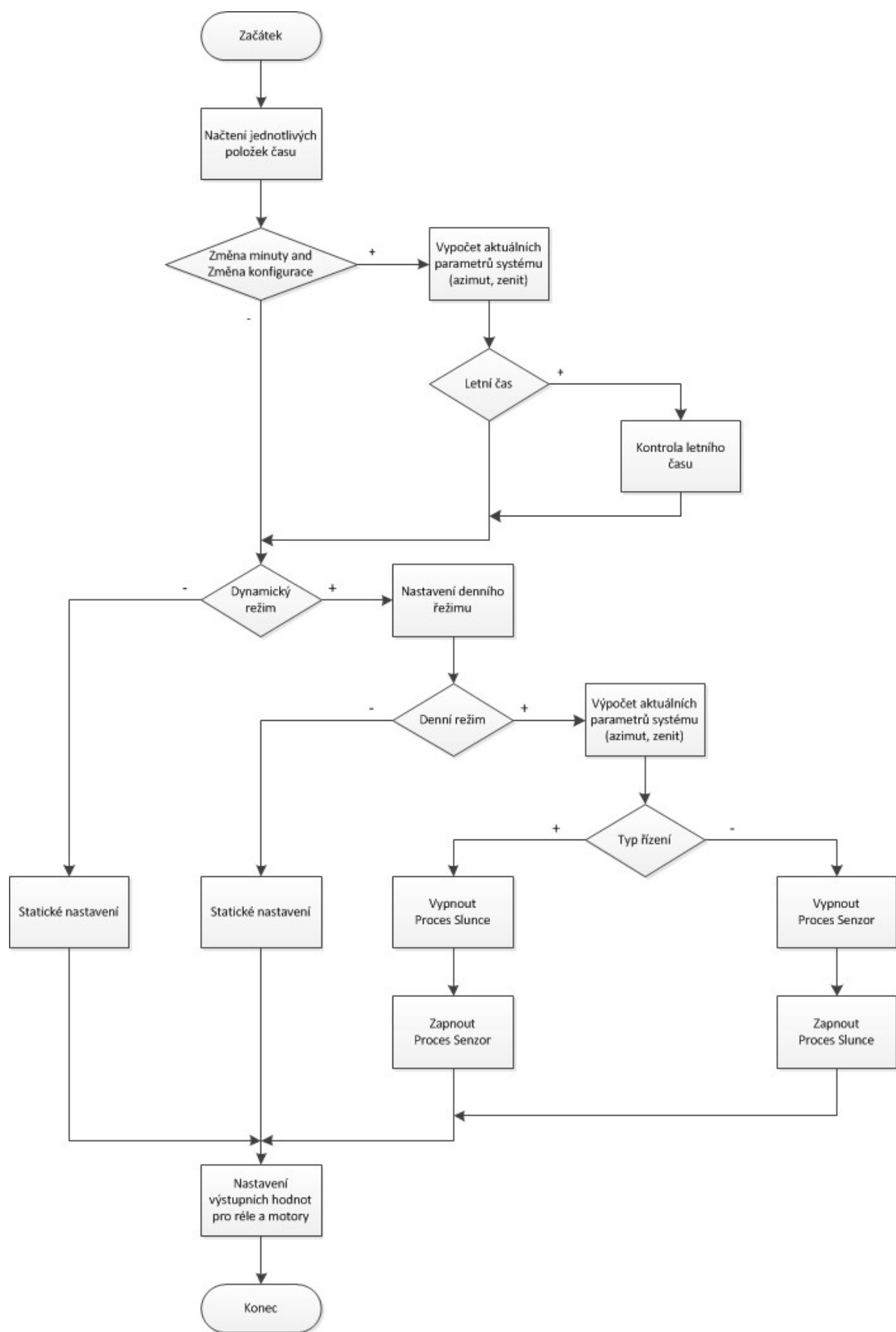
- nastavení protokolu Modbus,
- mód uživatele,
- kontrola polohy systému.

Proces Hlavni

Proces Hlavni řídí celý systém po dokončení zaváděcího procesu INIT. Byla zde implementována rozhodování, která zajišťují:

- Vypočtení aktuálních hodnot deklinace, východu a západu slunce a to vždy po půlnoci.
- Každou minutu dochází k vypočtení aktuálního solárního času, azimutu a zenitu slunce. Tyto hodnoty jsou počítány vždy až po východu slunce a přestanou se počítat vždy po západu slunce.
- Automatický přechod mezi zimním a letním časem.
- Na základě nastavení a vypočtených hodnot jsou přepínány řídicí módy systému.

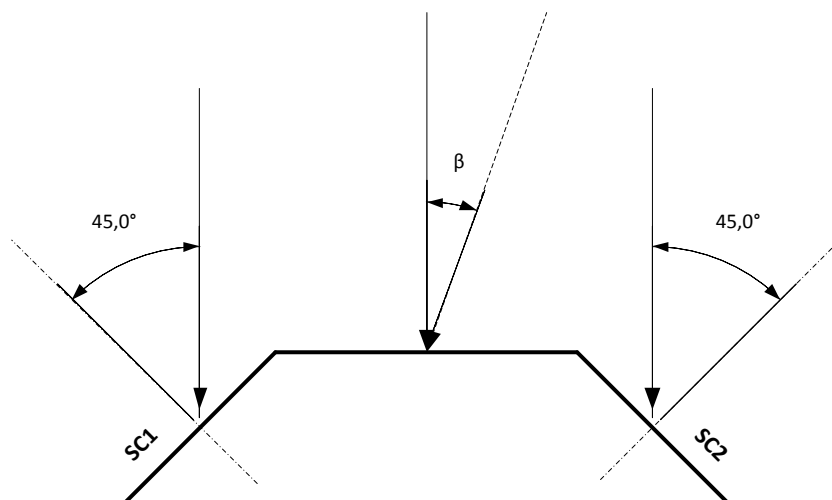
Na konci celého procesu jsou všechny hodnoty zapsány na výstupy. Průběh celého algoritmu je popsán v následujícím vývojovém diagramu.



Obr. 16: Algoritmus řídicího procesu Hlavní

Proces RezimSlunce

Proces RezimSlunce vyhodnocuje odklonění roviny solárních panelů od směru svitu slunečních paprsků. Celý algoritmus vychází z výpočtu v rovnici (34). V tomto výpočtu je spočtena velikost odchylky roviny kolmé na sluneční paprsky od roviny senzoru.



Obr. 17: Schéma senzoru natáčení

Ze schématu na Obr. 17 byla odvozena rovnice (32). Základem úvahy bylo, že pokud dojde k odklonění slunečních paprsků, dojde na jedné straně k přírůstku a na druhé k úbytku proudu. Jelikož ale budou sluneční paprsky odkloněny o stejný úhel, bude možné spočítat z těchto hodnot úhel odklonění a následně tento úhel přičíst k aktuální poloze a systém polohovat.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{I_{SC1} - I_{SC2}}{I_{SC1} + I_{SC2}} \right) \quad (32)$$

Algoritmus načítá signál průběžně každou 1 sekundu a počítá z něj klouzavý průměr z posledních 10ti načtených hodnot a to z důvodu eliminace možné odchylky na snímačích. Pokud by došlo k zastínění jednoho ze solárních řezů na krátkou dobu (průchod člověka před senzorem apod.), dojde sice k ovlivnění senzoru, ale odchylka bude nepatrná. Systém pracuje s určitým zpožděním, jelikož k přepočtu odchylky dochází vždy při 10tém průchodu procesem.

Systém je následně nastaven tak, že dojde ke spočtení odchylky slunečních paprsků od stávajícího směru. Spočtená odchylka je vyhodnocena, a pokud je větší jak 2,5° dojde k pootočení systém tak, že je ke stávající poloze přičtena spočtená odchylka.

3.3.1.2 Podprogramy

Jedná se o části kódu, které se v programu často opakují, nebo je bylo z důvodu přehlednosti programu snadnější oddělit. Podprogramy, které jsou součástí programu:

- LetniCas – Kontrola přechodu mezi letním a zimním časem
- NastRezimu – Kontroluje a nastavuje režim dne (Noc/Den)
- NastStat – Nastavuje hodnoty do defaultní polohy.
- VypKonstant – Vypočte konstantní hodnoty pro každý den (Deklinace, východ a západ slunce)
- VypParam – Přepočet parametrů polohy slunce

3.3.1.3 Funkční bloky

Funkční blok je uživatelem definovaný prvek, který se navenek chová jako jakýkoli jiný funkční modul. Jak bylo popsáno v kapitole 2.2.5.3 Editor funkčních bloků, k uplatnění v procesech stačí vložit funkční blok resp. jeho název (stejně jako obyčejný modul) a správně dosadit parametry potřebné k jeho práci. Vnitřní struktura přitom může být velmi komplikovaná, ale navenek se neprojeví.

Řídící PLC systémy od firmy Amit neobsahují funkce Arcus Sinus, Arcus Cosinus a Arcus Tangens. Program však s těmito funkcemi často pracuje a počítá. Z tohoto důvodu bylo třeba vytvořit jednoduché funkční bloky, které by tento výpočet byly schopné provést a bylo možno je jednoduše vložit do kódu programu. V práci byly vytvořeny funkční bloky pro všechny 3 zmiňované funkce.

fb_ASin a fb_ACos

Pro výpočet Arcus Sinus a Arcus Cosinus byl užit Taylorův rozvoj funkce. Jedná se o vyjádření funkce pomocí mocninné řady. Tímto způsobem získáváme tzv. Taylorův polynom, který vytváří aproximaci hodnoty funkce.

$$\arcsin(x) = x + \frac{1}{2} \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2} \frac{3}{4} \frac{x^5}{5} + \frac{1}{2} \frac{3}{4} \frac{5}{6} \frac{x^7}{7} + \dots \quad (33)$$

Pro $x \in (-1, 1)$

$$\arccos(x) = \frac{\pi}{2} - \left(x + \frac{1}{2} \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2} \frac{3}{4} \frac{x^5}{5} + \frac{1}{2} \frac{3}{4} \frac{5}{6} \frac{x^7}{7} + \dots \right) \quad (34)$$

Pro $x \in (-1, 1)$

X konverguje velmi rychle, pokud je malé a pomalu, pokud se blíží k 1. Pro výpočet bylo využito vztahu mezi funkcemi sinus a cosinus se shodným argumentem popsané následující rovnicí.

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \quad (35)$$

V algoritmu viz. Obr. 18 bylo následně postupováno tak, že pokud hodnota sinu bude větší jak 0,707 (odpovídá sinu i cosinu úhlu 45°), tak algoritmus využije vztahu, který je uveden v rovnici (36). Algoritmus přepočte hodnotu ze sinu na cosinus, nebo naopak provádí-li výpočet pro cosinus a spočte aproximaci sinu, popř. sinu. Aby bylo dosaženo dostatečné přesnosti, výpočet je prováděn s polynomem, kdy nejvyšší mocnina je 17. Maximální odchylka tohoto výpočtu je maximálně 0°0'19" při výpočtu pro 45°.

fb_ATan

fb_ATan je funkční blok pro výpočet Arcus tanges, který byl konstruován velmi podobně, jako funkční blok pro fb_ASin a fb_ACos. Způsob výpočtu je popsán v následující rovnici.

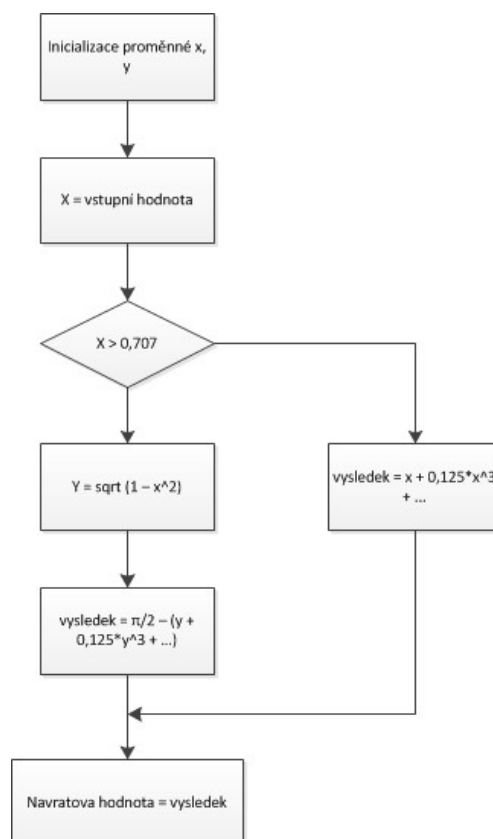
$$\arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{x^{2n+1}}{2n+1}, \quad (36)$$

pro $x \in (-1, 1)$

S ohledem na potřebné výpočty v programu, počítá funkční blok fb_ATan pouze v intervalu (-1, 1). Maximální odchylka je spočtena na 0° 17' pro $x = 1$.

fb_Vysunuti a fb_Naklopeni

fb_Vysunuti a fb_Naklopeni jsou funkční bloky pro přepočet vysunutí a naklopení. Představují systém přepočtu mezi vysunutím motoru BELIMO LH24A-SR200 a naklopením panelů. Způsob přepočtu mezi vysunutím a naklopením je popsán v kapitole 3.1.4 Výpočet kinematiky naklápění.



Obr. 18: Algoritmus pro výpočet funkce Arcus sinus

3.3.3 Řízení pomocí obrazovek

Řízení pomocí obrazovek bylo vytvořeno pro jednoduché ovládání celého systému. Jelikož je v PLC zabudována i klávesnice bylo ovládání systému vytvořeno tak, aby bylo možné nastavit základní parametry:

- Zemské poloha (zeměpisná šířka a výška)
- Čas (datum, čas, časové pásmo a možnost přechodu na letní/zimní čas)
- Typu řízení (vlastní, defaultní, natáčení za slunce podle času, nebo na základě vyhodnocení ze snímače)

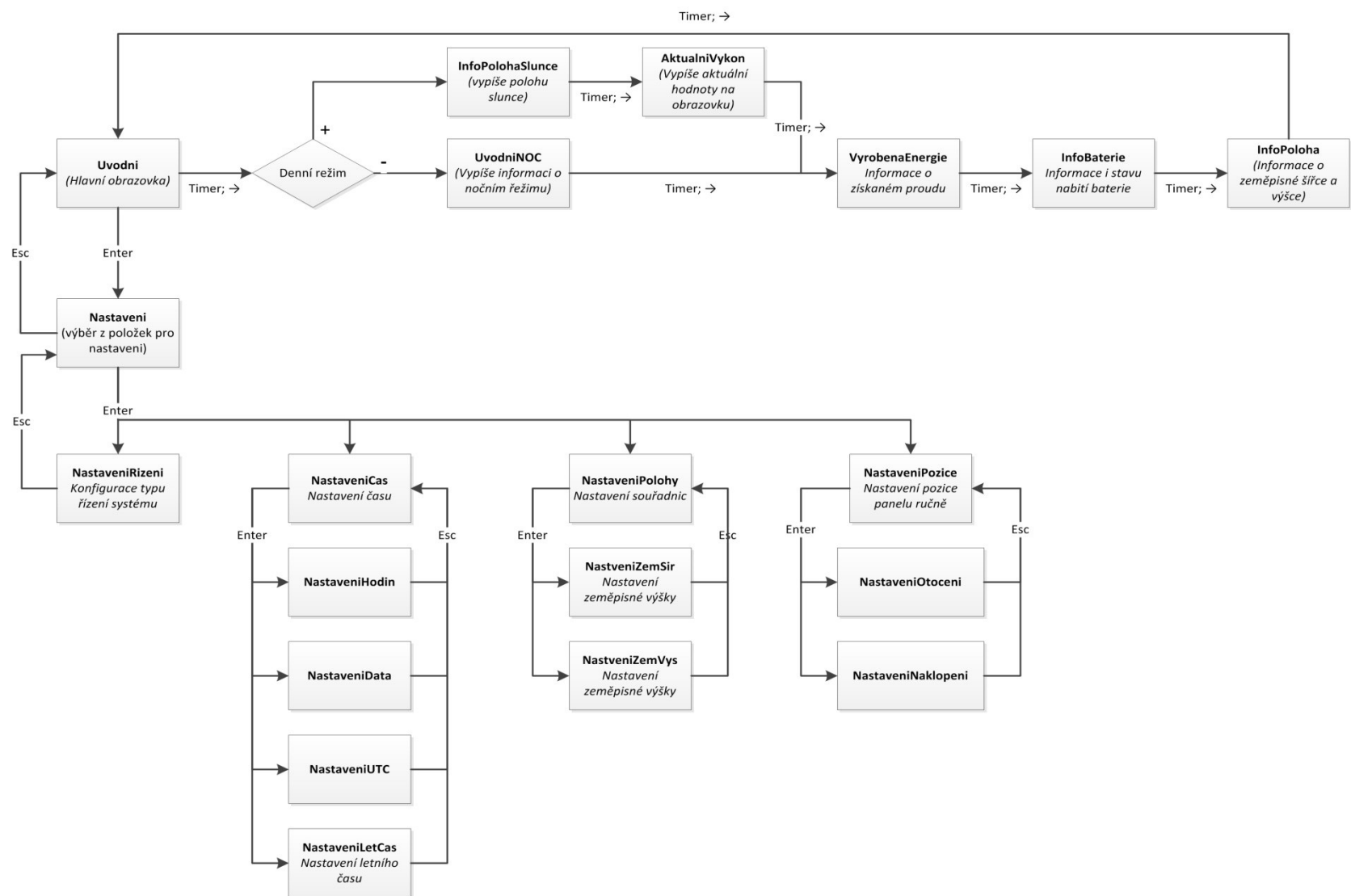
Stejně tak bylo třeba uživateli ukázat základní informace o nastavení a stavu systému:

- Typ řízení
- Nabití baterie
- Aktuální informace o napětí, proudu a výkonu ze solárních panelů
- Poloha slunce

Řízení systému pomocí obrazovek bylo vytvořeno v editoru obrazovek. Na Obr. 19 je vyobrazeno schéma se strukturou obrazovek a přechodů mezi nimi.

Při tvorbě programu byl využit i skriptovací jazyk, pomocí kterého bylo řešeno jednoduché rozhodování při zápisu nastavení, nebo při přechodech mezi obrazovkami. Níže je zobrazen skript pro přepínání zobrazeného nastavení po stisknutí klávesy enter.

```
event Menu1_Item0_OnPressEnter()  
    @dynRezim = not @dynRezim;  
    label4.Visible = @dynRezim;           // label4 = dynamický  
    label2.Visible = not @dynRezim;       // label2 = statický  
    label3.Visible = @dynRezim and (not @typRizeni);  
    label5.Visible = @dynRezim and @typRizeni;  
    label6.Visible = (not @dynRezim) and (not @typStatNas);  
    label7.Visible = (not @dynRezim) and (@typStatNas);  
    NastaveniRizeni.Refresh();  
end;
```



Obr. 19: Schéma ovládání a přechodů mezi obrazovkami

3.4 Vyhodnocení

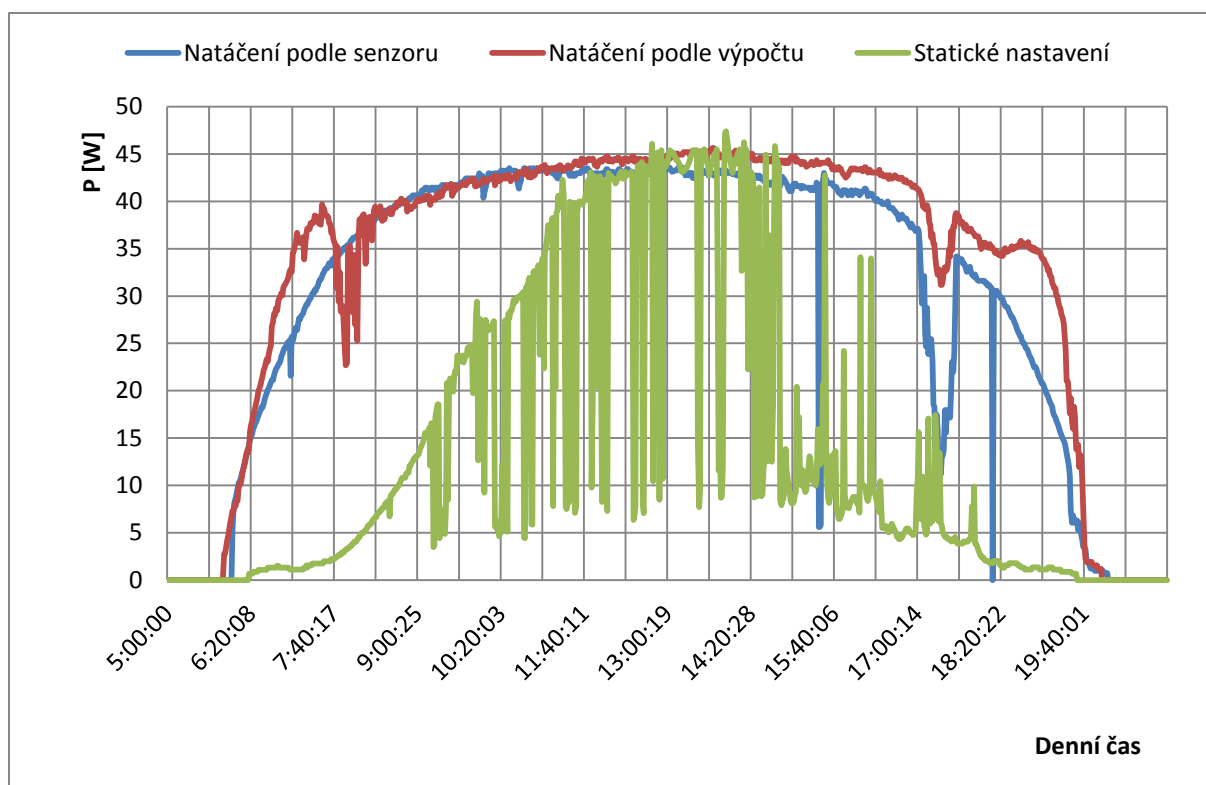
K vyhodnocení funkčnosti celého systému byla využita funkce DetStudia pro archivaci proměnných. Pomocí této funkce byla sbírána průběžně data z celého systému a to každou minutu. Jednalo se o tyto hodnoty:

- Úhel natočení systému.
- Úhel naklopení systému.
- Napětí.
- Proud.
- Aktuální výkon dodávaný panely.
- Celkový vyrobený proud.

Aby bylo možné jednotlivé systémy porovnat, bylo třeba provést 3 měření v přibližně stejných podmínkách. Byla měřena

- funkčnost senzoru,
- natáčení dle spočtené polohy slunce,
- poloha panelů ve statickém režimu.

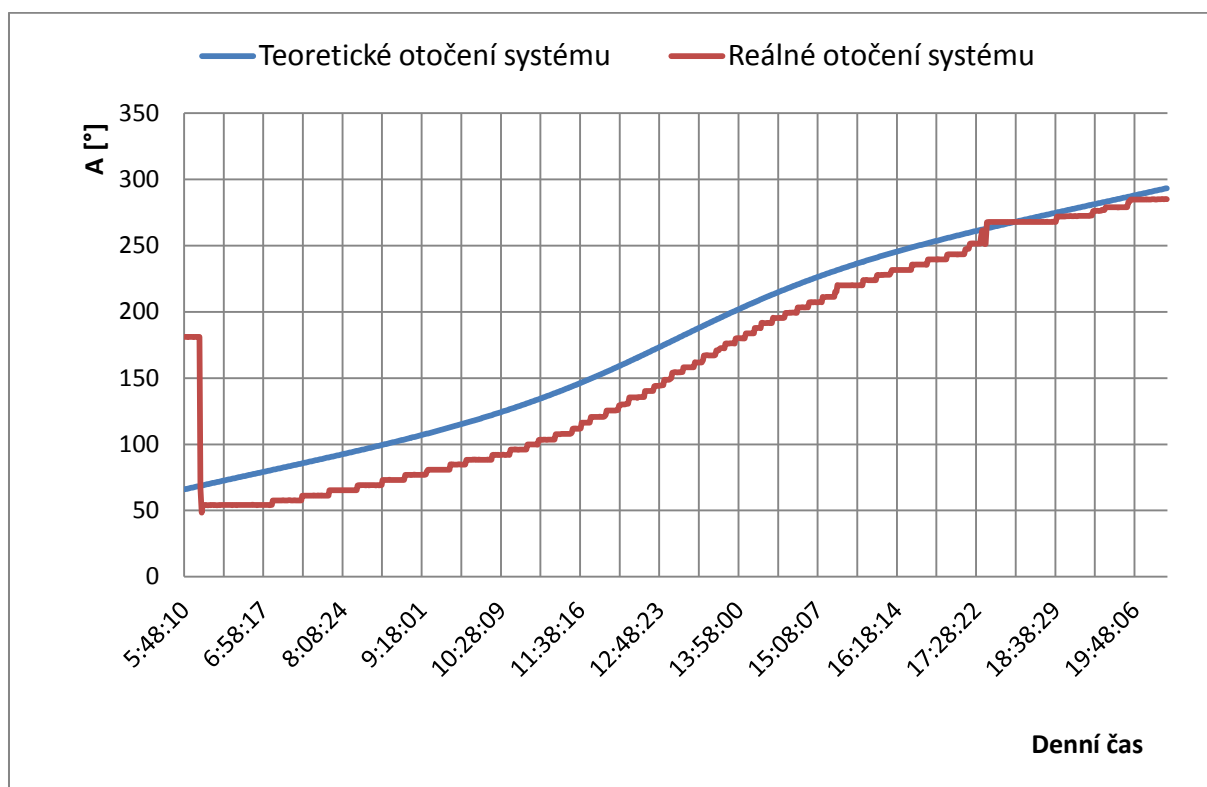
Měření bylo provedeno v průběhu několika dnů, kdy bylo polojasné až slunečné počasí. Při měření statického nastavení bylo počasí horší a v odpoledních hodinách docházelo ke zvýšení oblačnosti, která zapříčinila zhoršení měření výsledků, což je vidět na následujícím grafu.



Obr. 20: Graf výkonu solárních panelů v průběhu dne

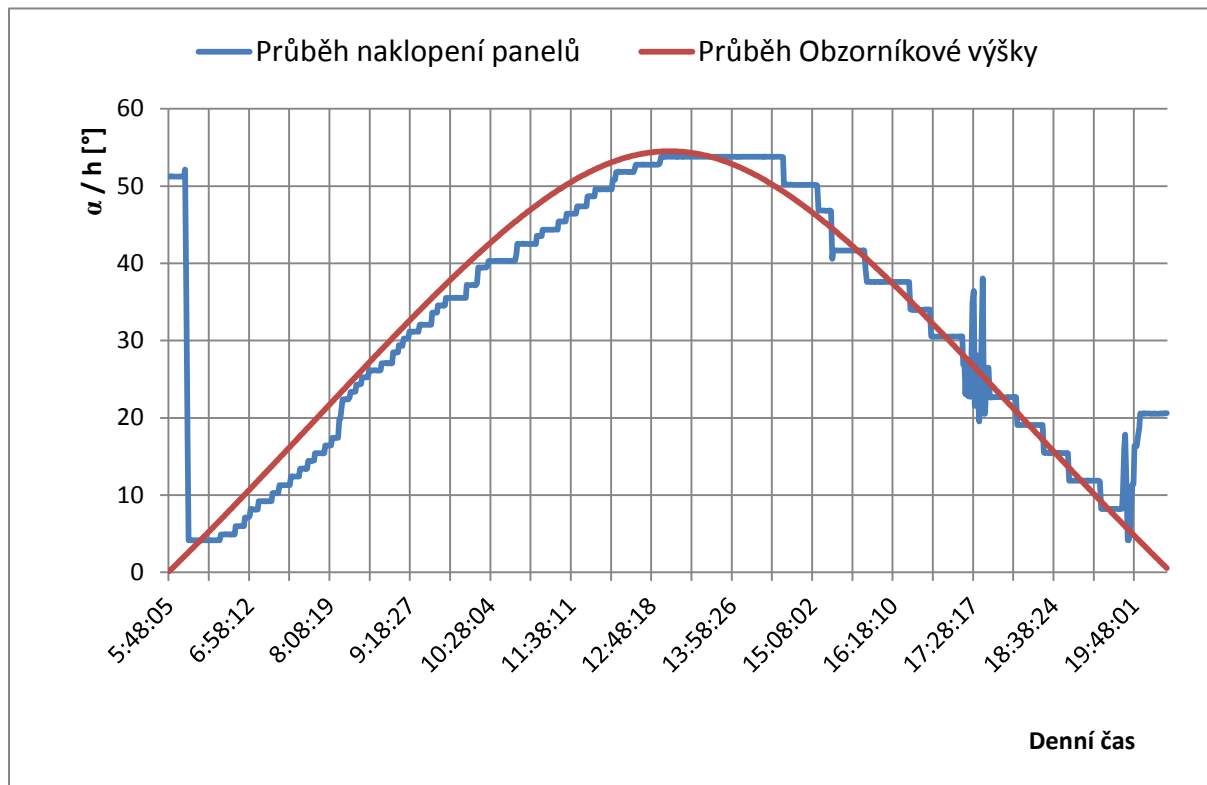
Z výsledků je jasné patrné, že systém natáčení dokázal dodávat v průběhu dne proud o přibližně stejné velikosti a měl rychlý náběh na plný výkon. Oproti tomu statický systém měl pomalý náběh a v oblasti maximálního výkonu se pohyboval 3 hodiny. Viz. obr. 20.

Z výsledků měření bylo dále zjišťováno, jakou odchylku má systém od teoretické hodnoty natočení a naklopení je-li natáčen pomocí senzoru. Na Obr. 21 je zobrazeno teoretické a reálné otočení systému. Průměrná odchylka je zde přibližně 20° a v celém průběhu byla přibližně stejná. S ohledem na charakter chyby a její velikost mohla tato chyba vzniknout buď chybou na senzoru, který mohl být při provozu poškozen, nebo chybnou orientací systému. Po přezkoumání systému bylo zjištěno, že se jedná o chybu způsobenou nepřesností článku, kdy při přesouvání senzoru došlo k drobnému poškození článku. Článek byl vyměněn a přeměřením bylo zjištěno, že systém vykazuje korektní hodnoty. Z časových důvodů a nevhodných podnebných podmínek pro měření nebylo možné provést nové měření.



Obr. 21: Graf průběh teoretického a reálného otočení systému

Na Obr. 22 je zobrazen průběh naklápění systému a průběh obzorníkové výšky h slunce. Část senzoru určena pro vyhodnocování naklopení fungovala dle předpokladu, což provedené měření zobrazené na grafu potvrzuje.



Obr. 22: Graf průběhu naklápění panelů a obzorníkové výšky

4 ZÁVĚR

V práci bylo zjištěno, že ideálním systémem řízení natáčení za sluncem je využít systém natáčení podle času a spočtených astronomických jednotek. Nejenom, že se díky tomuto systému dá dosáhnout vysoké přesnosti, ale tento způsob oproti systému řízení pomocí snímače netrpí chybami způsobenými:

- odrazem světla
- rozptýleným světlem
- nedostatečným osvětlením
- nepřesností měřícího senzoru

Systém je třeba pouze přesně nastavit v počátku a následně může být provozován trvale bez problémů.

Naopak výhodu systému natáčení za sluncem pomocí senzoru shledávám v možnosti sestavit systém, u kterého není třeba implementovat odměřovací soustavu a systém může být natáčen pomocí postupného pootáčení za sluncem na základě vyhodnocování směru svitu slunce.

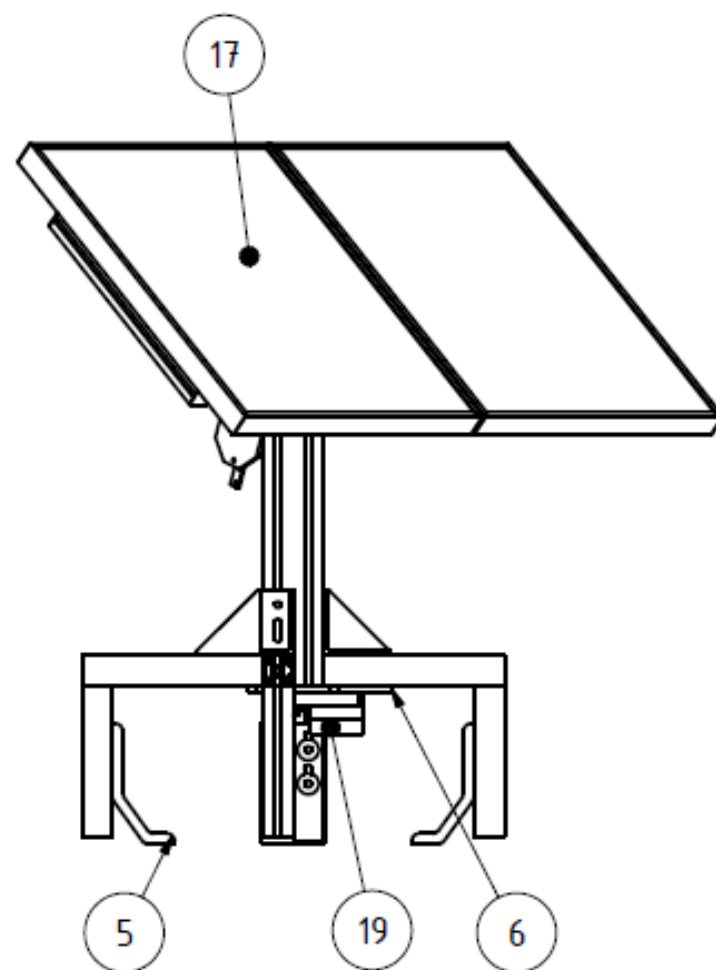
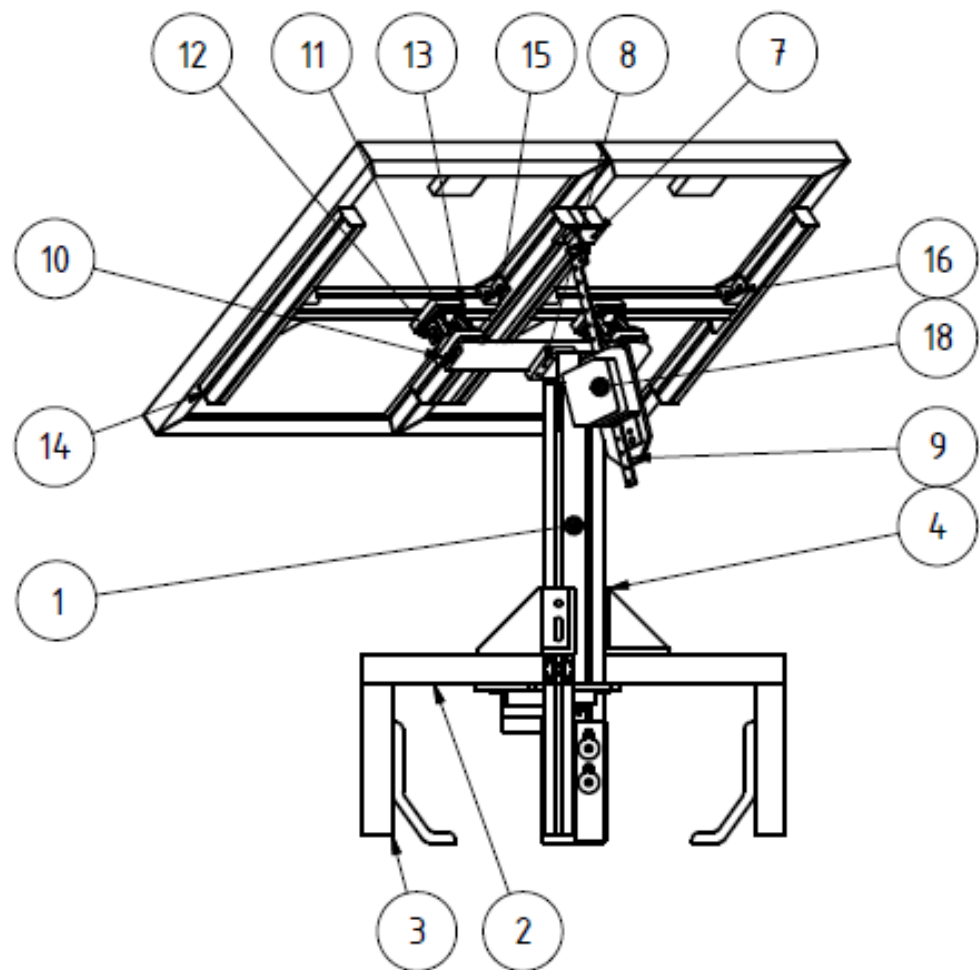
Citovaná literatura

- [1] A. Henze a W. Hillebrand, Elektrický proud ze slunce, Ostrava: nakladatelství HEL, 2000.
- [2] F. Kosmák, „Elektrika.cz,“ Elektrika.cz spol. s r.o., 3 Zář 2009. [Online]. Available: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>. [Přístup získán 8 Zář 2011].
- [3] V. Queshing, Obnovitelné zdroje energií, 1. vydání editor, Praha: Grada publishing a.s., 2010.
- [4] K. Murtinger, J. Beranovský a M. Tomeš, Fotovoltaika. Elektřina ze slunce, Brno: ERA, 2008.
- [5] „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS),“ Intitue for Energy and Transport (IET), [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. [Přístup získán 2 Květen 2012].
- [6] L. Šmejkal a M. Martinovská, PLC A AUTOMATIZACE : 1.díl – Základní pojmy, úvod do programování, 1. vydání editor, Praha: BEN – technická literatura, 1999, p. 224.
- [7] AMiT, spol. s r.o., „DetStudio - Průvodce první aplikací, Návod na obsluhu,“ AMiT, spol. s r.o., Praha, 2008.
- [8] Z. Říha, „Zásady používání RS485,“ AMiT, spol. s r.o., Praha, 2010.
- [9] Z. Říha, „Komunikace v síti MODBUS,“ AMiT, spol. s r.o., Praha, 2010.
- [10] H. M. Woolf, ON THE COMPUTATION OF SOLAR ELEVATION ANGLES AND THE DETERMINATION OF SUNRISE AND SUNSET TIMES, Washington: NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 1968.
- [11] L. Lenža, Astronomie pro každého, Olomouc: nakladatelství Rubico, 2002.
- [12] M. Wolf a kol., ASTRONOMICKÁ PŘÍRUČKA, Praha: Academica, 1992.
- [13] J. Vobecký a V. Záhlava, ELEKTRONIKA součástky a obvody, principy a příklady, Praha: Grada Publishing, 2001.
- [14] L. Maixner, Mechatronika, Brno: Computer Press, 2006.
- [15] BELIMO, *Lineární pohon LH24A-SR - Technický list.*
- [16] BELIMO, *Rotační pohon LU24A-SR - Technický list.*

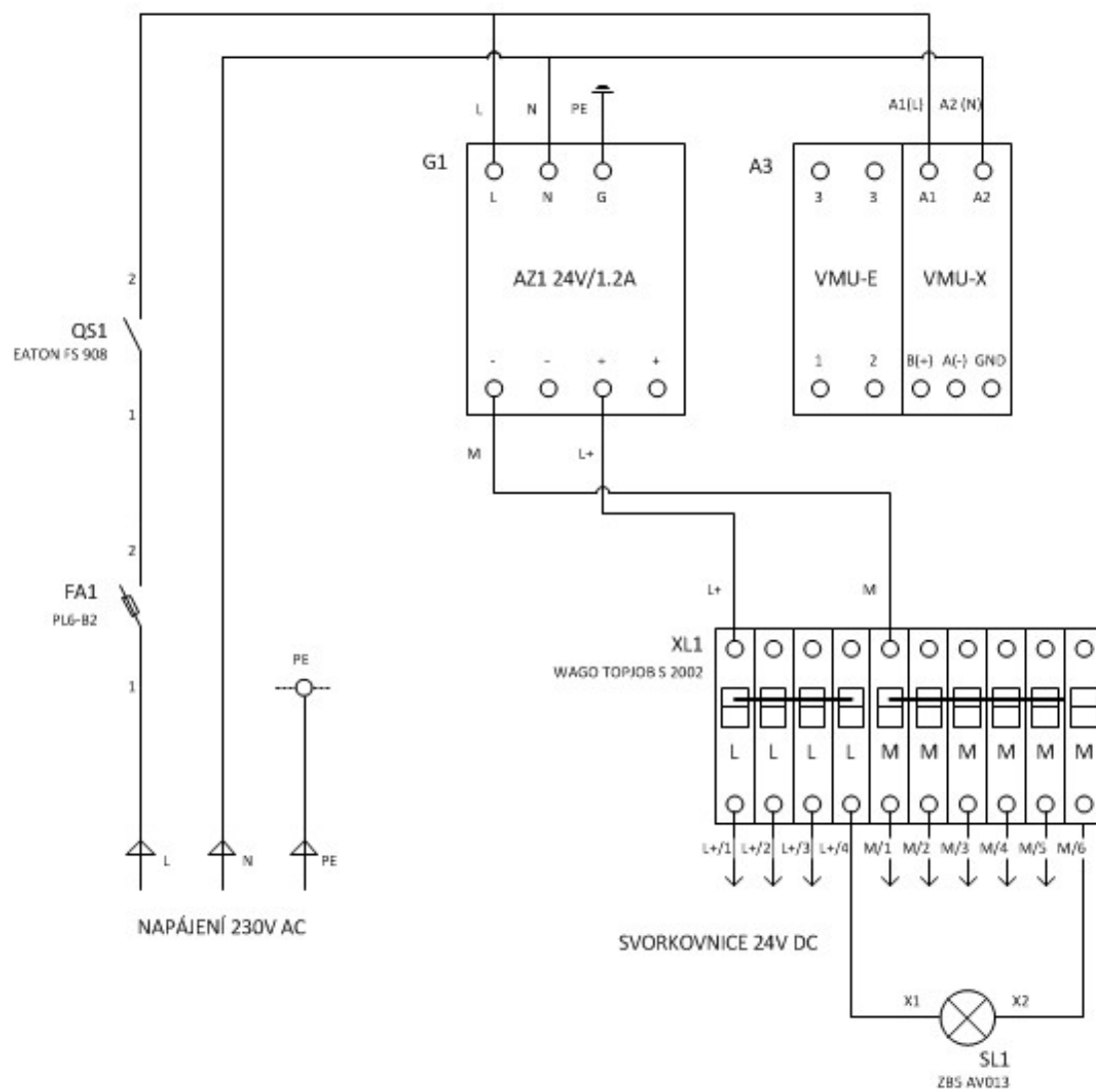
[17] I. Mezník, J. Karásek a J. Miklíček, Matematika I pro strojní fakulty, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, p. 504.

Seznam příloh

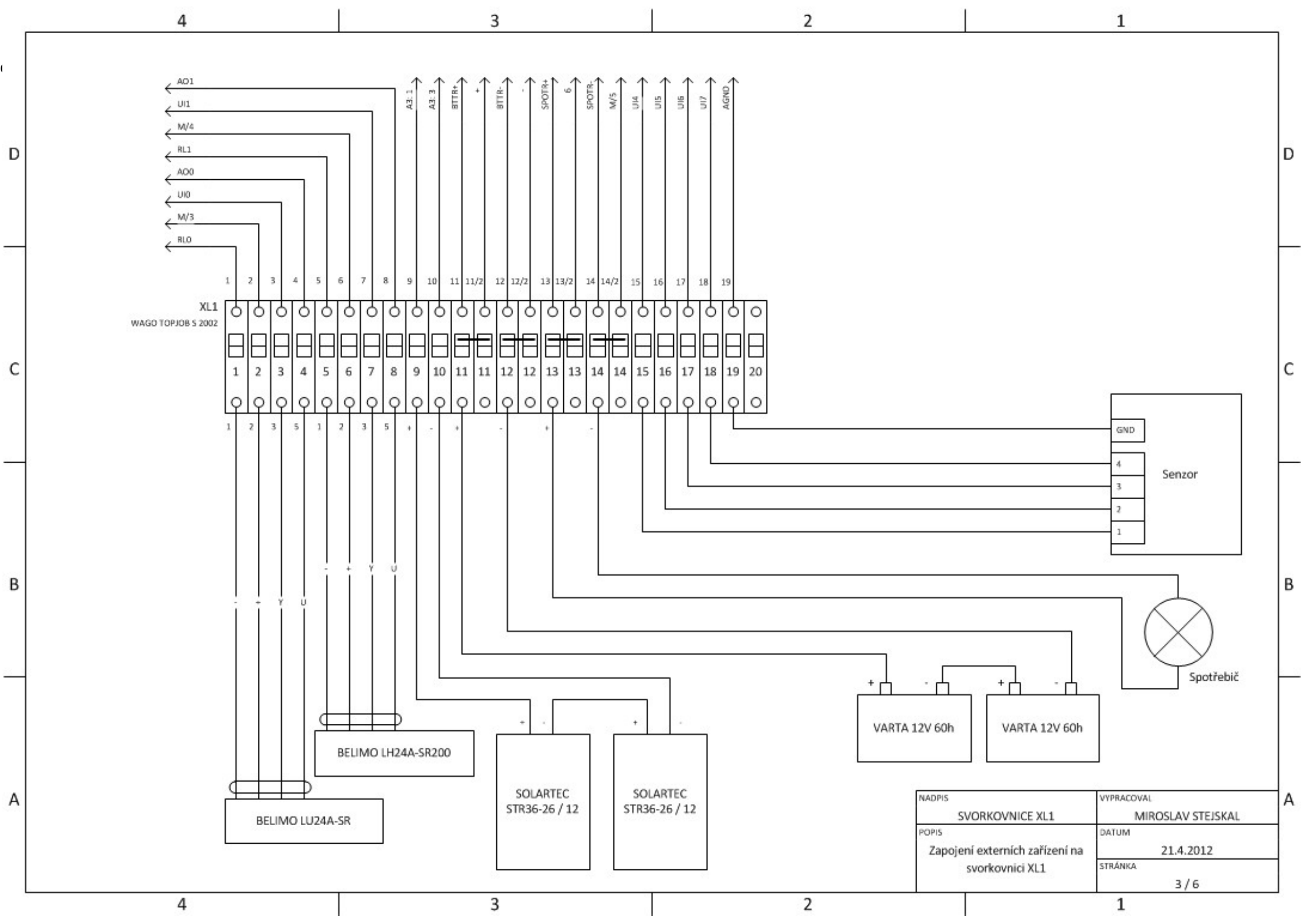
- Příloha č.1 Celková sestava mechaniky natáčení solárního slepovače.
- Příloha č.2 Schéma zapojení jednotlivých modulů v rozvaděči.
- Příloha č.3 Fotografie výsledné práce



					Datum	Jméno			
				Nakreslen	6.5.2012	Stejskal			
				Kontrolován					
				Norma					



NADPIS	VYPRACOVAL
NAPÁJENÍ	MIROSLAV STEJSKAL
POPIS	DATUM
Napájení 230V AC a 24V DC	21.4.2012
	STRÁNKA
	2 / 6



NADPIS	SVORKOVNICE XL1	VYPRACOVAL	MIROSLAV STEJSKAL
POPIS	Zapojení externích zařízení na svorkovnici XL1	DATUM	21.4.2012
		STRÁNKA	3 / 6

4

3

2

1

D

D

C

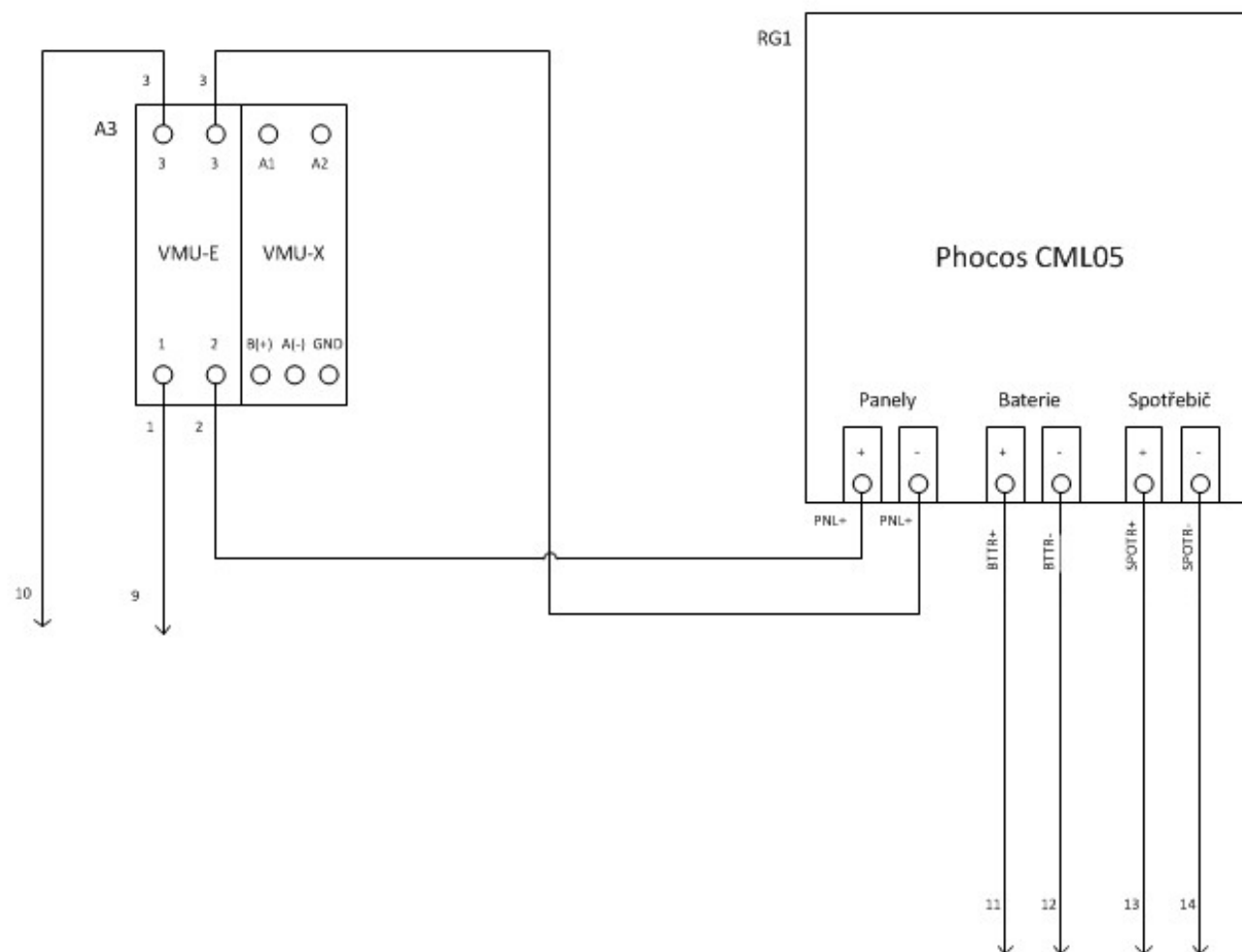
C

B

B

A

A



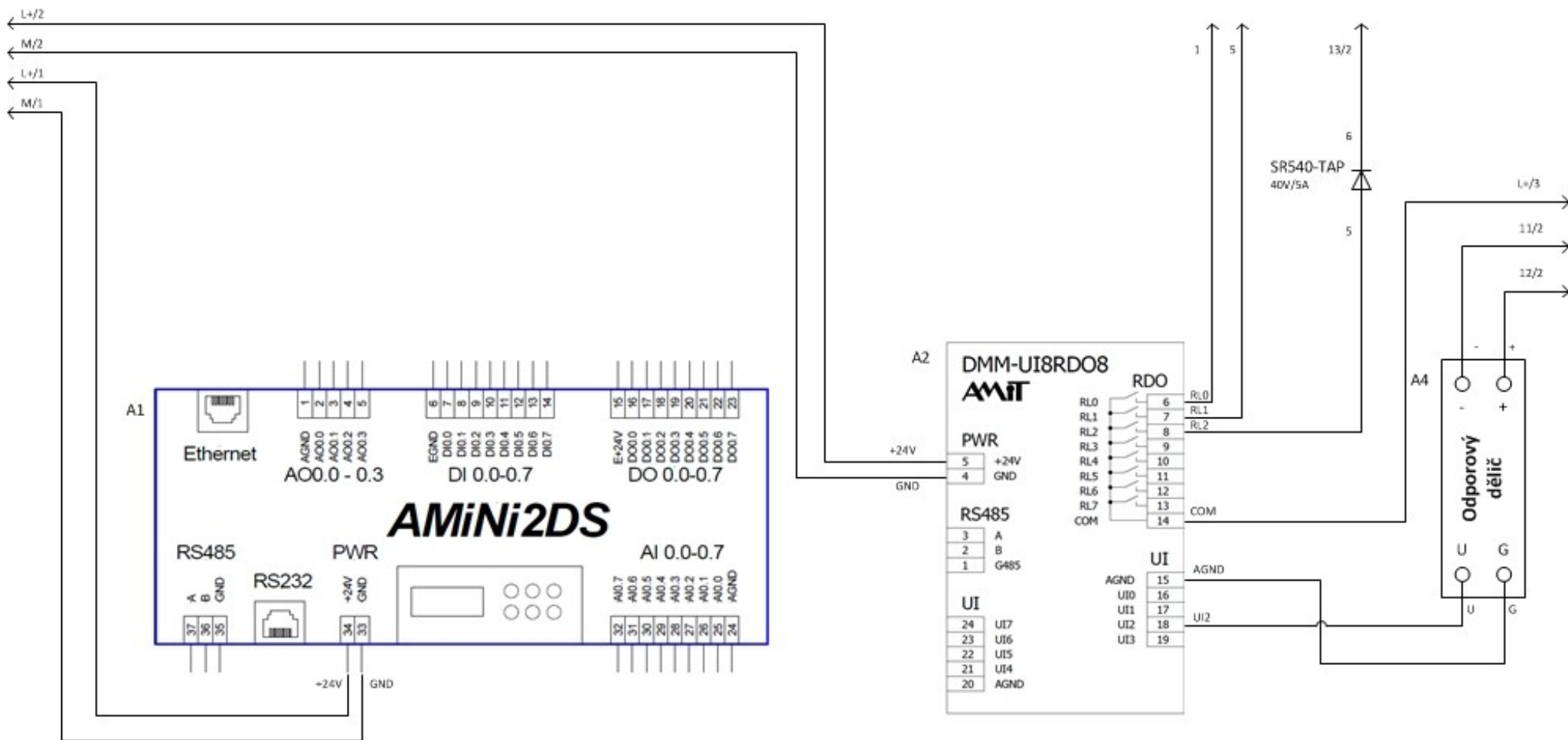
NADPIS	VYPRACOVAL
ZAPOJENÍ REGULÁTORU	MIROSLAV STEJSKAL
POPIS	DATUM
Zapojení regulátoru nabíjení a wattmetru	21.4.2012
	STRÁNKA
	4 / 6

4

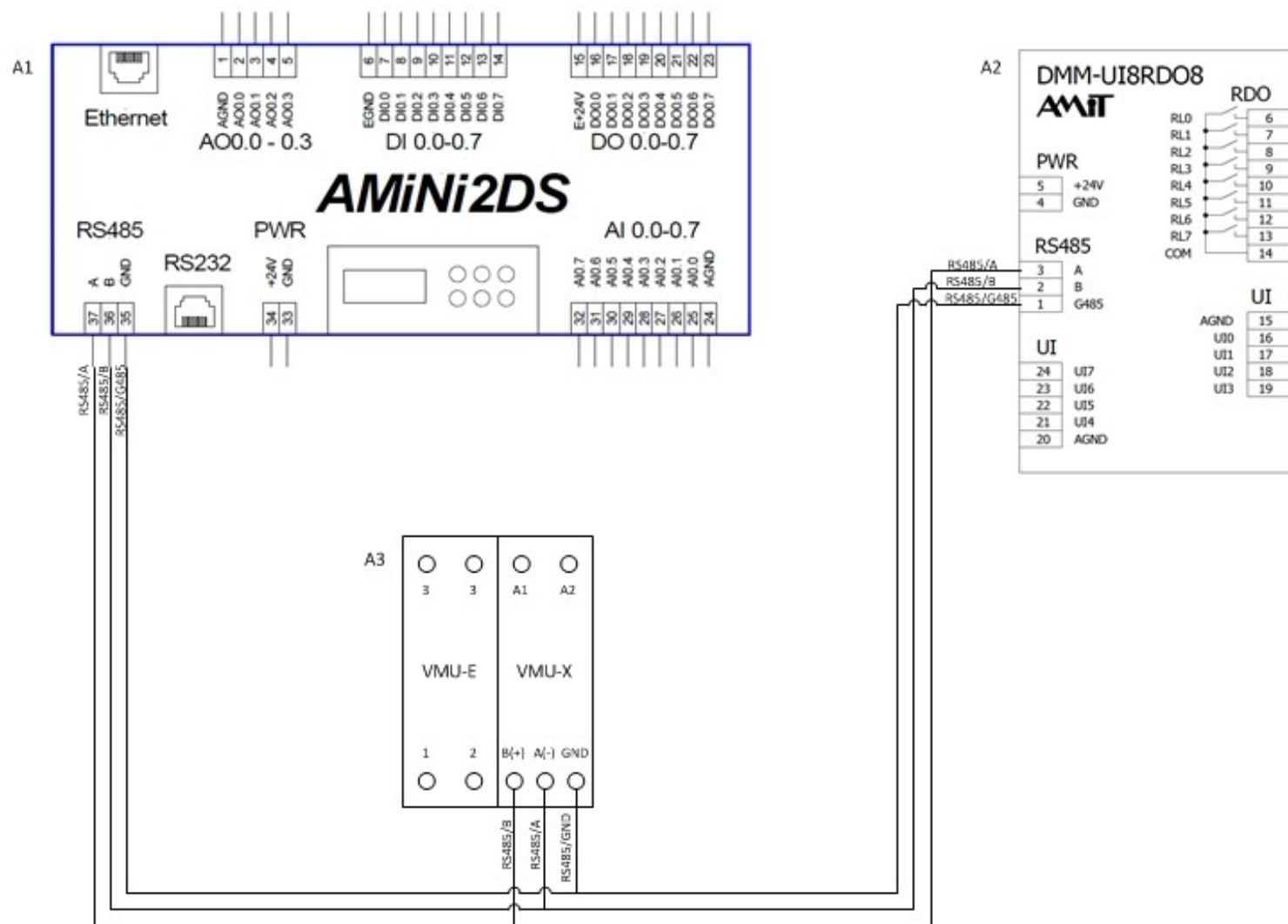
3

2

1



NADPIS	ZAPOJENÍ PLC	VYPRACOVAL	MIROSLAV STEJSKAL
POPIS	Zapojení PLC a měřící soustavy	DATUM	21.4.2012
		STRÁNKA	5 / 6



NADPIS	ZAPOJENÍ RS485	VYPRACOVAL	MIROSLAV STEJSKAL
POPIS	Zapojení RS485; U zařízení A3 pozor na značení, A a B je prohozeno, zapojte zařízení dle schématu.	DATUM	21.4.2012
		STRÁNKA	6 / 6

